91-05087/

L'ENSILAGE DES BALLES RONDES

Québec

ADDENDA

M. Jeannot Lachance,

de la Direction régionale 2, Québec,

faisait également partie du groupe spécial de travail sur les techniques d'ensilage de balles rondes.

Gouvernement du Québec, 1990
Dépôt légal — 2e trimestre 1990
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN: 2-551-12341-0

RÉDACTION

Le groupe spécial de travail sur les techniques d'ensilage de balles rondes était composé de:

Jean Genest, *président*	Direction de la coordination scientifique et technique
André Amyot	Service de la zootechnie Deschambault
Rosaire Caron	Direction régionale 11 Mauricie
Jean-Noël Couture	Direction régionale 3 Beauce-Appalaches
Serge Poussier	Direction régionale 3 Beauce-Appalaches
Mario Quévillon	Direction régionale 9 Abitibi-Témiscamingue
Dominique D. Rony	Service de la zootechnie Deschambault
Philippe Savoie	Agriculture Canada Station de recherches de Lennoxville

ÉDITION

André Amyot	Service de la zootechnie Deschambault
Huguette Gaulin	Direction des communications Québec

ILLUSTRATIONS

Gaston Mayrand	Direction régionale 9 Abitibi-Témiscamingue

PHOTOS DE LA PAGE COUVERTURE

Michel Langlois, MAPAQ
Pierre Lemay, MAPAQ

REMERCIEMENTS

La réalisation de cet ouvrage a bénéficié de la collaboration des personnes qui suivent:
Charles Bachand
Marc Clément
Maurice Demers
David Fisk
Bertrand Forest
Rita Lantagne
Donald Tremblay

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 11

1. NOTIONS FONDAMENTALES SUR LES ENSILAGES 13

1.1 Activités enzymatiques des plantes 14
1.1.1 Respiration cellulaire 14
1.1.2 Hydrolyse des glucides des plantes 15
1.1.3 Protéolyse des protéines 15

1.2 Activités des bactéries 15
1.2.1 Bactéries aérobies 17
1.2.2 Action des bactéries acétiques (coliformes) 17
1.2.3 Action des bactéries lactiques 17
1.2.4 Action des bactéries butyriques (clostridies) 17

1.3 Action des champignons 19

1.4 Pertes en cours d'ensilage 19

1.5 Aptitude des plantes à l'ensilage 20

Résumé 21

2. LES TECHNIQUES D'ENSILAGE DE BALLES RONDES 23

2.1 Fauche, conditionnement et manipulation des andains 23
2.1.1 Types de faucheuses et de conditionneurs 23
2.1.2 Largeur et manipulation des andains 24

2.2 Pressage 25
2.2.1 Presses à balles rondes 25
2.2.1.1 Presses à chambre fixe 27
2.2.1.2 Presses à chambre variable 27
2.2.1.3 Mécanisme d'enroulement 27
2.2.1.4 Pertes au pressage 28
2.2.2 Densité des balles 28
2.2.3 Capacité de pressage (balles récoltées par heure) 29

2.3 Reprise au champ et transport au site d'entreposage 30

2.4 Mise en silo 31
2.4.1 Site d'entreposage 31
2.4.2 Qualité du polyéthylène 32
2.4.3 Méthodes d'entreposage 33
2.4.3.1 Balles en sacs individuels 33
2.4.3.2 Balles enrobées avec un film étirable 34
2.4.3.3 Balles groupées en ligne ou en pyramide 35
2.4.3.4 Conformateur pour balles groupées en ligne ou en pyramide 36

2.5 Capacité (ou vitesse) d'un chantier de récolte et d'entreposage des fourrages 37

2.6 Reprise et distribution 39
2.6.1 Reprise 39
2.6.2 Distribution 40

2.7 Disposition des plastiques 41

Résumé 41

3. CONSERVATION DE L'ENSILAGE DE BALLES RONDES 43

3.1 Réussite de la fermentation 43
3.1.1 Effet du fourrage long 43
3.1.2 Teneur en matière sèche lors du pressage 44
3.1.3 Densité des balles 46
3.1.4 Moment de mise sous plastique 47
3.1.5 Fermeture hermétique des sacs 49
3.1.6 Méthode d'entreposage 49
3.1.7 Utilisation d'additifs de conservation 49
3.2 Pertes pendant l'entreposage 50
3.2.1 Nature des pertes 50
3.2.2 Effet de la teneur en matière sèche du fourrage sur les pertes dues au processus d'ensilage 51
3.2.3 Effet de la teneur en matière sèche du fourrage sur la perte de fourrage non consommable 51
3.2.4 Effet de la durée d'entreposage sur les pertes de fourrage non consommable (cas des sacs) 52
3.2.5 Effet de la méthode d'entreposage sur les pertes de fourrage non consommable 52
3.2.6 Comparaison avec l'ensilage haché 53
3.3 Perspective 54
Résumé 55

4. ASPECTS ZOOTECHNIQUES 57

4.1 Régie d'élevage et d'alimentation 57
4.1.1 Dimension du troupeau 57
4.1.2 Type de stabulation 57
4.1.3 Forme de présentation des rations et besoins des animaux 57
4.1.4 Classification et analyse des fourrages 58
4.2 Qualité de conservation de l'ensilage de balles rondes 58
4.2.1 Observations chez les producteurs 58
4.2.2 Réussite de la fermentation de l'ensilage 58
4.2.3 Valeur protéique de l'ensilage 59
4.3 Aspects nutritionnels 60
4.3.1 Effets de la protéolyse 60
4.3.2 Effets de la longueur des brins et du pH 60
4.4 Performances de animaux 61
4.4.1 Observations chez les producteurs 61
4.4.2 Effet du pourcentage de matière sèche 62
4.4.3 Comparaison avec l'ensilage en silo-couloir 63
4.4.3.1 Ingestion 63
4.4.3.2 Gain de poids 63
4.4.4 Comparaison avec l'ensilage en silo-tour et silo-meule 64
4.5 Conclusion 65
Résumé 65

5. ASPECTS ÉCONOMIQUES 67

5.1 Investissements 68
5.1.1 Investissements pour passer du foin en balles rectangulaires à l'ensilage de balles rondes 68
5.1.2 Investissements pour passer du foin en balles rectangulaires à l'ensilage en silo-meule 69
5.1.3 Comparaison des investissements de base pour l'ensilage de balles rondes et l'ensilage en silo-meule 70

5.2 Coût des plastiques pour l'ensilage de balles rondes et l'ensilage en silo-meule 70
5.3 Frais d'exploitation 72
5.4 Pertes de matière sèche 72
5.4.1 Importance des pertes 72
5.4.2 Frais variables supplémentaires pour compenser les pertes de matière sèche 74
5.5 Frais de main-d'oeuvre 74
5.6 Retards d'exécution 76
5.6.1 Baisse de valeur alimentaire due à des retards de récolte 76
5.6.2 Capacité climatique des méthodes de récolte 77
5.6.3 Temps de récolte selon le système de récolte 77
5.6.4 Coût des délais d'exécution 77
5.7 Prix de revient des fourrages 79
5.8 Comparaison des différents systèmes d'ensilage en silo-meule 79
5.8.1 Analyse du prix de renvient 79
5.8.2 Autres facteurs 81
5.9 Comparaison avec le système d'ensilage en silo-meule 82
5.9.1 Point d'équilibre 82
5.9.2 Répartition des frais d'exploitation entre le foin et l'ensilage 84
5.9.3 Structure des frais d'exploitation 85
5.10 Comparaison avec le foin en balles rectangulaires 86
5.10.1 Prix de revient 86
5.10.2 Écarts du prix de revient 86
5.11 Conclusion 86
Résumé 87

CONCLUSION 89

BIBLIOGRAPHIE 91

ANNEXES

1. Frais d'exploitation pour la mise sous plastique, selon la méthode d'entreposage de l'ensilage de balles rondes en 1989 95
2. Exemples de calcul des frais d'exploitation 97
3. Capacité climatique moyenne de diverses méthodes de récolte selon les paramètres décrits 101
4. Exemple de calcul de capacité climatique des chantiers 102
5. Temps estimé moyen de récolte à la première coupe sans dommage climatique 103
6. Prix de revient de la récolte, l'entreposage et la reprise selon le système d'entreposage, lorsqu'on additionne aux frais d'exploitation le coût des pertes, de la main-d'oeuvre et des retards d'exécution 104
7. Pressage et enrobage à forfait 106

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1.	Influence de la teneur en matière sèche sur le pH inhibant la croissance des bactéries butyriques.	13
Figure 1.2.	Acidification des ensilages.	18
Figure 2.1.	Presse à chambre fixe.	27
Figure 2.2.	Presse à chambre variable.	27
Figure 2.3.	Méthode pour obtenir une balle de bonne densité sur toute sa largeur à partir d'un andain étroit.	28
Figure 2.4.	Pince à balles rondes.	30
Figure 2.5.	Protection du site d'entreposage contre les rongeurs.	32
Figure 2.6.	La fermeture hermétique des sacs d'ensilage	34
Figure 2.7.	Enrobage des balles rondes avec un film étirable.	34
Figure 2.8.	Ensilage de balles rondes en ligne, sans conformateur.	35
Figure 2.9.	Ensilage de balles rondes en pyramide 2:1, sans conformateur.	36
Figure 3.1.	Évolution du pH de l'ensilage de luzerne à 50% M.S. en balles rondes selon que le fourrage est non haché ou haché long avec une fourragère à fléaux.	43
Figure 3.2.	Évolution du pH de l'ensilage humide (25% M.S.), préfané (40% M.S.) et demi-sec (55% M.S.) de luzerne et fléole en balles rondes.	45
Figure 3.3.	Évolution de la température de fermentation de l'ensilage de balles rondes selon le délai d'ensachage après le pressage.	47
Figure 3.4.	Évolution du pH de l'ensilage de fléole en balles rondes selon le délai d'ensachage après le pressage.	48
Figure 5.1.	Frais d'exploitation pour la mise sous plastique, selon la méthode d'entreposage de l'ensilage de balles rondes en 1989.	71
Figure 5.2.	Composantes du prix de revient selon le système de récolte et d'entreposage et le volume de fourrage.	80
Figure 5.3.	Prix de revient selon le système de récolte et d'entreposage et le volume de fourrage.	83
Figure 5.4.	Frais d'exploitation pour l'ensilage, pour le foin et pour le fourrage total pour les systèmes de base d'ensilage de balles rondes et d'ensilage en silo-meule (75% ensilage: 25% foin).	84
Figure 5.5.	Structure des frais d'exploitation pour l'ensilage de balles rondes en sac et l'ensilage en silo-meule.	85
Figure A.1.	Nombre minimal de balles à presser pour justifier l'achat d'une presse à balles rondes, selon différents coûts de pressage à forfait.	107

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1.	Effet de différentes températures et durées de chauffage de l'ensilage sur la digestibilité des protéines.	14
Tableau 1.2.	Barème d'appréciation qualitative des ensilages.	15
Tableau 1.3.	Activité des micro-organismes dans un ensilage.	16
Tableau 1.4.	Synthèse des pertes d'énergie des ensilages.	19
Tableau 1.5.	Influence de l'heure d'échantillonnage et de coupe sur la teneur en sucres solubles de l'herbe coupée pour l'ensilage.	20
Tableau 1.6.	Pouvoir tampon de quelques plantes fourragères.	21
Tableau 2.1.	Comparasion de cinq faucheuses-conditionneuses en termes de séchage, pertes au champ et besoin en énergie.	24
Tableau 2.2.	Caractéristiques des presses à balles rondes.	26
Tableau 2.3.	Masse moyenne des balles rondes selon leurs dimensions et la teneur en matière sèche du fourrage.	29
Tableau 2.4.	Capacité de transport et de mise en silo.	31
Tableau 2.5.	Largeur du film plastique pour balles en ligne et en pyramide 2:1, sans conformateur.	36
Tableau 2.6.	Capacité de fauchage.	37
Tableau 2.7.	Capacité de ramassage.	37
Tableau 2.8.	Capacité de transport - entreposage.	38
Tableau 2.9.	Capacité de fauchage, ramassage, transport et entreposage par jour de 10 heures.	38
Tableau 2.10.	Grosseur minimale de troupeau pour limiter les pertes à la reprise des ensilages de balles rondes.	40
Tableau 3.1.	Effet de la longueur des brins sur l'utilisation des glucides dans la fermentation de l'ensilage de luzerne à 50% M.S. en balles rondes.	44
Tableau 3.2.	Effet de la longueur des brins et du pourcentage de matière sèche sur la fermentation de l'ensilage de fléole en balles rondes.	44
Tableau 3.3.	Effet du pourcentage de matière sèche du fourrage sur la fermentation de l'ensilage de balles rondes.	46
Tableau 3.4.	Effet du moment d'ensachage et du pourcentage de matière sèche de l'ensilage de balles rondes sur le pourcentage de protéine liée à la fibre.	48
Tableau 3.5.	Pertes au champ et en entrepôt pour divers systèmes d'ensilage.	54
Tableau 4.1.	Enquête sur la qualité des ensilages des balles rondes.	58
Tableau 4.2.	Effets de la teneur en matière sèche sur l'ensilage de balles rondes en sacs ou en pyramide.	59
Tableau 4.3.	Effets du pourcentage de matière sèche sur le fractionnement de l'azote dans les balles rondes sèches et ensilées.	59
Tableau 4.4.	Comparaison du silo-meule à brin court avec l'ensilage de balles rondes chez des bouvillons en croissance.	61
Tableau 4.5.	Effets du pourcentage de matière sèche des balles rondes sèches et ensilées sur l'ingestion volontaire et les coefficients de digestibilité.	62
Tableau 4.6.	Performances des animaux alimentés avec de l'ensilage de balles rondes et de l'ensilage en silo-couloir.	63

Tableau 4.7. Effet de l'ensilage de balles rondes et l'ensilage en silo-tour ou silo-meule sur les performances des vaches laitières. 64
Tableau 4.8. Effet du mode d'alimentation de l'ensilage de balles rondes chez les vaches laitières et les moutons. 65
Tableau 5.1. Investissements liés à l'adoption de l'ensilage de balles rondes pour des modèles de 150 et 200 tonnes de matière sèche de fourrages. 68
Tableau 5.2. Investissements liés à l'adoption de l'ensilage en silo-meule pour des modèles de 150 et 200 tonnes de matière sèche de fourrages. 69
Tableau 5.3. Comparaison des exigences en capitalisation de base pour l'introduction de l'ensilage en silo-meule et l'adoption de l'ensilage de balles rondes. 70
Tableau 5.4. Coût du plastique nécessaire à la protection des ensilages. 71
Tableau 5.5. Pertes de matière sèche pour divers systèmes de récolte et conservation des fourrages. 73
Tableau 5.6. Main-d'oeuvre requise pour la récolte et l'entreposage des fourrages. 75
Tableau 5.7. Coût en main-d'oeuvre de différents systèmes de récolte et d'entreposage. 75
Tableau 5.8. Évolution de la protéine brute, de l'énergie nette de lactation et du taux d'ingestion de la fléole et de la luzerne. 76
Tableau 5.9. Coûts comparatifs estimés des délais d'exécution sans dommage climatique selon les systèmes de récolte et les volumes de fourrages. 78

INTRODUCTION

Les ensilages d'herbe non hachée et pressée en balles rondes conservées sous film de plastique sont apparus dans le Nord de l'Europe au cours de la décennie 1970. Au Québec, ce phénomène date de 1982. Les ensilages de balles rondes, comme on les désigne familièrement, connaissent un certain succès auprès des agriculteurs. Ceux-ci apprécient particulièrement la flexibilité du système, qui permet d'effectuer la récolte tant sous forme de foin que d'ensilage. La manutention au champ exige peu d'effort et les investissements requis pour un système neuf sont inférieurs à ceux des ensilages hachés fin. La possibilité du forfait contribue également à la popularité du système.

Les ensilages de balles rondes se sont donc développés pour des raisons étrangères à la qualité de la conservation des herbages. En fait, on trouve peu de données concernant les performances d'animaux alimentés avec de l'ensilage de balles rondes dans la documentation.

Un groupe de travail multidisciplinaire composé de zootechniciens, d'ingénieurs, de spécialistes de la conservation des fourrages et d'économistes a tenté d'apprécier cette méthode de façon objective à partir de données factuelles. Ce groupe a pris en considération les résultats inédits des expériences menées au Service de la zootechnie de Deschambault depuis 1985. Il a tenu compte des évaluations réalisées chez des producteurs et dans des conditions expérimentales pour faire une synthèse des connaissances actuelles sur l'ensilage de balles rondes qui seraient applicables au Québec.

Après un bref rappel du processus général de la fermentation des ensilages, cette publication traite de la fabrication, de la conservation, de l'utilisation et de l'économie de l'ensilage de balles rondes.

1. NOTIONS FONDAMENTALES SUR LES ENSILAGES

La valeur alimentaire d'un fourrage est largement influencée par son stade de croissance lors de la coupe. La récolte sous forme d'ensilage n'améliore pas sa qualité mais permet de diminuer les risques de pertes au champ et les retards d'exécution dus aux mauvaises conditions climatiques.

L'ensilage est un processus de fermentation anaérobie visant à conserver les fourrages verts ou d'autres aliments à l'état humide, avec le minimum de pertes de matière sèche et de valeur nutritive, sans formation de produits de fermentation dangereux pour la santé des animaux. (Dulphy et Demarquilly, 1978).

Pour réaliser un bon ensilage, il est impératif:

- de récolter un fourrage jeune et riche en sucres solubles;
- d'atteindre et de maintenir des conditions d'anaérobiose (absence d'oxygène) de façon à limiter les activités oxydatives des enzymes de la plante et de la flore aérobie;
- d'atteindre et de maintenir un pH de stabilité (figure 1.1) empêchant le développement de la flore butyrique responsable de la décomposition des acides aminés en gaz carbonique, en ammoniac et autres composés azotés toxiques, tels que les amines.

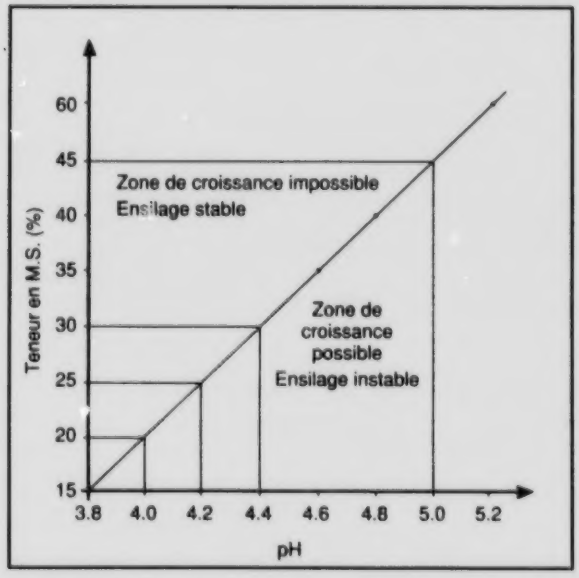


Figure 1.1. **Influence de la teneur en matière sèche sur le pH inhibant la croissance des bactéries butyriques.**

Source: Wieringa, 1969.

Ce chapitre a pour objectif de décrire les phénomènes du processus d'ensilage et de dégager les principes nécessaires à sa réussite.

1.1 Activités enzymatiques des plantes

Après la coupe et pendant les premiers stades du processus d'ensilage, les changements biochimiques sont dus principalement aux activités enzymatiques des plantes.

1.1.1 Respiration cellulaire

Peu de temps après la fauche, la photosynthèse cesse pour faire place à une réaction inverse, la respiration. Celle-ci se poursuit tant que la plante est vivante et qu'il y a présence d'oxygène.

$$\text{Sucres} + O_2 = CO_2 + H_2O + \text{chaleur}$$

La respiration cellulaire lors du séchage au champ est néfaste puisqu'elle entraîne des pertes de matière sèche et d'énergie en abaissant le contenu en sucre des plantes. Or, le sucre est souvent l'élément limitatif du développement de la flore lactique responsable de l'acidification de l'ensilage. Il est donc préférable de ne pas prolonger le préfanage au-delà de la teneur en matière sèche recommandée pour un système d'ensilage donné.

Lors de la mise en silo, la respiration cellulaire est un processus bénéfique pour les ensilages non traités à l'acide, puisqu'elle permet alors d'atteindre rapidement la condition d'anaérobie essentielle au développement des bactéries lactiques.

Dans un silo étanche, lorsque la quantité d'oxygène emprisonnée est faible:

- l'élimination d'oxygène est rapide (5-6 heures);
- la perte de matière sèche due à la respiration cellulaire est négligeable comparativement à celle due à la fermentation (Dexter, 1966, cité par Woolford, 1984);
- l'élévation de température est d'environ 3°C ou 4°C et la quantité de sucre oxydé est inférieure à 1% (McDonald et al., 1966, cité par Woolford, 1984). Ceci se traduit par une perte nette d'énergie de 1% à 2%.

Par contre, dans un silo mal scellé ou contenant une trop grande proportion d'oxygène, l'oxydation des sucres peut être telle qu'ils seront insuffisants pour assurer le développement rapide de la flore lactique. De plus, l'infiltration d'oxygène dans la masse provoquera une élévation de température qui peut avoir des conséquences néfastes sur la digestibilité de la protéine, à cause du phénomène de caramélisation (réaction de Maillard). Cette réaction débute à une température d'environ 40°C et provoque un brunissement de l'ensilage causé par la liaison d'une partie de la protéine avec la fibre pour former un composé non digestible pour les animaux. Le tableau 1.1 montre l'effet de différentes températures et durées de chauffage sur la digestibilité des protéines.

Tableau 1.1. **Effet de différentes températures et durées de chauffage de l'ensilage sur la digestibilité des protéines.**

Durée chauffage (jours)	Digestibilité des protéines (%)		
	Température de chauffage (°C)		
	43°	57°	71°
0 (témoin)	69,7	69,7	69,7
3	68,7	65,8	60,2
9	68,4	64,4	50,0
18	65,2	58,6	35,8
30	65,4	49,0	30,1

Adapté de: Gallagher, 1976.

On peut obtenir du laboratoire le pourcentage d'azote dans la fibre par détergent acide (% N-A.D.F.). Le pourcentage de protéine liée à la fibre est calculé en multipliant cette valeur par 6,25.

$$\% \text{ protéine liée} = \% \text{ N-A.D.F. X } 6{,}25$$

Lorsque le pourcentage de protéine liée dépasse 1,9%, on doit corriger le pourcentage de protéine brute en conséquence.

1.1.2 Hydrolyse des glucides des plantes

Les glucides solubles, qui représentent de 5 à 20% de la matière sèche des plantes, sont très rapidement hydrolysés en glucose et fructose qui sont les principales sources d'énergie des micro-organismes.

Les glucides membranaires quant à eux ne constituent pas une source appréciable d'énergie pour le développement des bactéries. L'hémicellulose fait exception puisqu'une proportion de 10 à 60% peut être utilisée dépendamment des conditions de fermentation (Anderson, cité par Zimmer, 1971).

1.1.3 Protéolyse des protéines

Une partie plus ou moins importante des protéines est dégradée en acides aminés par les enzymes de la plante. Cette protéolyse est maximale entre un pH de 5,0 à 6,0 et il semble qu'un pH inférieur à 4,0 ralentit considérablement cette réaction sans toutefois l'inhiber complètement (McDonald, 1981).

La teneur en azote soluble de la plante, qui est de 20% à 30% de l'azote total à l'origine, peut donc augmenter considérablement si l'abaissement du pH est trop lent ou insuffisant. Le tableau 1.2 intitulé «Barème d'appréciation qualitative des ensilages» permet d'estimer le degré de protéolyse d'après la proportion d'azote soluble dans l'ensilage. Ces barèmes sont utilisés en France. L'Institut National de Recherche Agronomique considère qu'ils ne sont généralement pas assez sévères et conduisent à classer excellents des ensilages qui sont simplement bons, et dont la qualité de conservation doit encore être améliorée pour obtenir une ingestibilité élevée et une valeur azotée réelle maximale (Institut National de Recherche Agronomique, 1980).

Tableau 1.2. **Barème d'appréciation qualitative des ensilages**

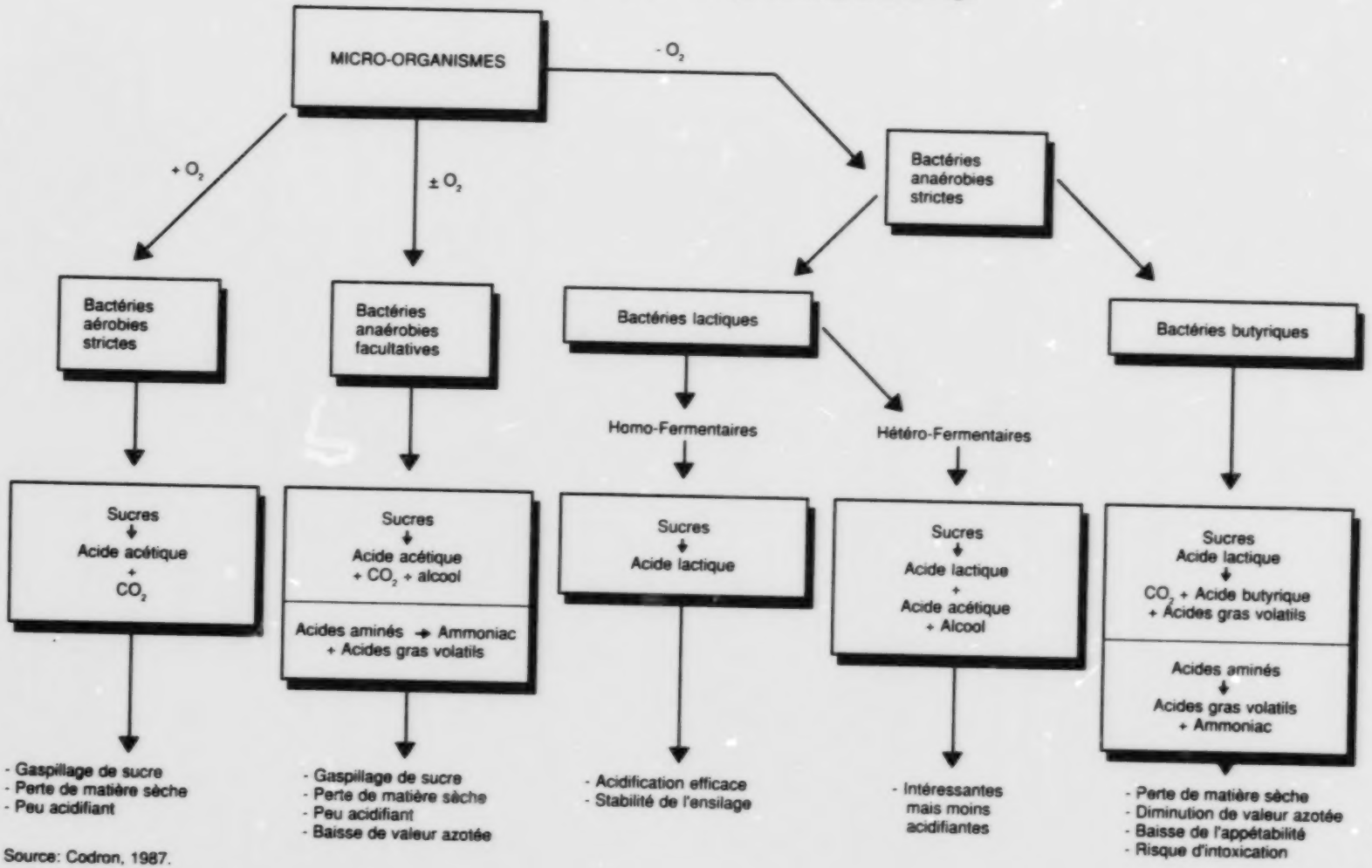
Qualité de l'ensilage	Acide acétique (% de la matière sèche)	Acide butyrique (% de la matière sèche)	Azote soluble (% de l'azote total)	Azote ammoniacal (% de l'azote total)
Excellent	< 2,0	0	< 55	< 5
Bon	2,0-3,5	< 0,5	55-60	5-10
Satisfaisant	3,5-5,0	> 0,5	60-65	10-15
Médiocre	5,0-6,5	> 0,5	65-75	15-20
Très mauvais	> 6,5	> 0,5	> 75	> 20

Adapté de: Institut Technique de l'Élevage Bovin, 1980.

1.2 Activités des bactéries

Des millions de bactéries sont présentes à la surface de chaque gramme de fourrage vert (Langston et al., 1962, Gouet et Chevalier, 1966, cités par Dulphy et Demarquilly, 1978). Certaines sont bénéfiques à la réussite de l'ensilage alors que d'autres sont nuisibles. Les principaux facteurs susceptibles d'affecter positivement ou négativement le développement des divers types de bactéries sont: la teneur en eau du fourrage, la présence ou l'absence d'oxygène, la disponibilité des sucres comme source d'énergie et la présence de terre dans l'ensilage. Le tableau 1.3 résume les principales activités des micro-organismes dans un ensilage.

Tableau 1.3. **Activité des micro-organismes dans un ensilage**



Source: Codron, 1987.

1.2.1 Bactéries aérobies

Au départ, ce sont les bactéries aérobies qui sont actives. Elles ne jouent aucun rôle bénéfique dans le processus d'acidification et meurent par suite du manque d'oxygène dû à la respiration cellulaire.

1.2.2 Action des bactéries acétiques (coliformes)

Les bactéries coliformes sont les premières à se multiplier car elles sont anaérobies facultatives. Elles contribuent à un début d'acidification en transformant les sucres en gaz carbonique et en acide acétique. Cette acidification n'est pas suffisante pour assurer la conservation des fourrages humides. De plus, ces bactéries dégradent les acides aminés en ammoniac et en amines. Une concentration élevée en acide acétique et en ammoniac est indicatrice d'une mauvaise préservation de la valeur alimentaire tel que le démontre le tableau 1.2.

Dans un ensilage bien réussi, l'action des coliformes est de courte durée et est stoppée par suite de l'acidification rapide par la flore lactique à un pH inférieur à 4,5.

1.2.3 Action des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques sont strictement anaérobies. Même si elles sont peu nombreuses au départ, leur multiplication est très rapide et elles représentent la quasi totalité de la flore de l'ensilage en moins de 8 jours, s'il y a absence d'oxygène et libération rapide d'une quantité suffisante de sucres. Elles sont responsables d'abaisser le pH à un niveau suffisamment bas pour inhiber le développement des bactéries butyriques.

Comme leur nom l'indique, ces bactéries transforment les sucres en acide lactique mais avec un rendement différent selon qu'elles sont homofermentaires (Streptococcus et certains lactobacilles à forte efficience) ou hétérofermentaires (Leuconostocs et certains lactobacilles d'efficience variable et plus faible).

Les bactéries homolactiques permettent une acidification efficace tout en préservant 100% de la matière sèche et 99,3% de l'énergie d'origine des fourrages (McDonald et al., 1973, cités par Dulphy et Demarquilly 1978). Bien que les fermentations homolactiques soient présentes dans tous les ensilages, leur importance est très variable et difficile à contrôler.

Selon McDonald, les réactions hétérolactiques sont plus fréquentes quoique moins efficaces. Elles préservent 76% de la matière sèche et 98,3% de l'énergie lorsque le glucose constitue le substrat de départ. Lorsque les bactéries travaillent à partir du fructose, elles préservent 95,2% de la matière sèche et 99,0% de l'énergie (McDonald et al., 1973, cités par Dulphy et Demarquilly, 1978). Il peut donc y avoir concentration de l'énergie dans la matière sèche et amélioration apparente de la qualité mais il y a toujours une perte nette d'énergie et de matière sèche.

1.2.4 Action des bactéries butyriques (Clostridies)

Les Clostridies sont les bactéries responsables des fermentations butyriques indésirables. Elles sont quasi absentes de la surface des plantes fraîches non coupées. La contamination du fourrage se fait essentiellement par le sol où elles se trouvent sous forme sporulée. Il est donc important d'éviter au maximum la contamination du fourrage par la terre. Ces spores doivent germer avant d'entrer en activité. Lorsque les bactéries butyriques se développent, c'est donc toujours avec quelque temps de retard sur les bactéries lactiques.

Par ailleurs, ces bactéries sont sensibles à l'acidité d'une part et à la pression osmotique d'autre part. La pression osmotique est déterminée par la concentration des sucs cellulaires contenus dans la plante et par conséquent par sa teneur en matière sèche.

Le pH de stabilité empêchant le développement des fermentations butyriques est donc conditionné par la teneur en matière sèche de l'ensilage. Si la flore lactique ne réussit pas à abaisser suffisamment rapidement la masse d'ensilage à un pH égal ou inférieur au pH de stabilité (figure 1.1), les clostridies pourront entrer en activité. Il faut cependant savoir qu'en pratique, la fermentation butyrique n'est totalement inhibée qu'à des teneurs en matière sèche supérieures à 28% (Edwards et McDonald, 1984). La figure 1.2 illustre différents modèles d'évolution du pH selon les conditions présentes.

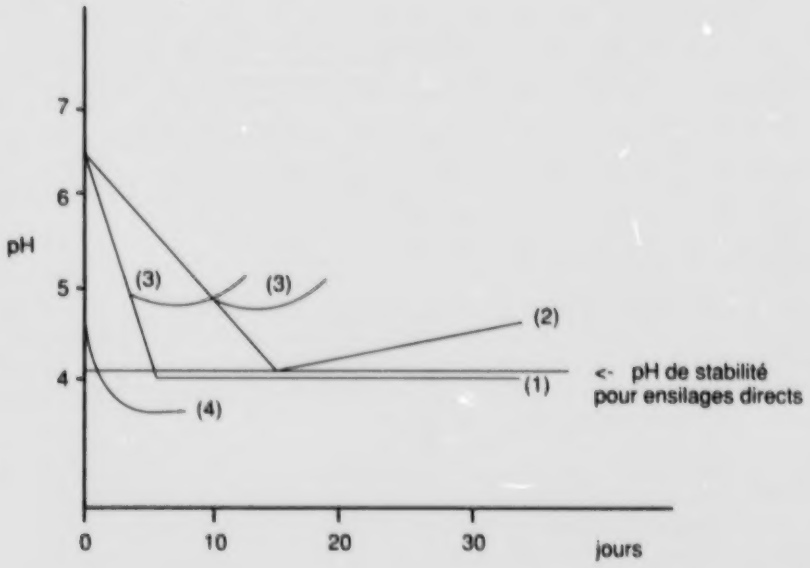


Figure 1.2. **Acidification des ensilages**.

(1) : Sucres disponibles en quantité suffisante et pouvoir tampon pas trop élevé. Bonnes conditions de réalisation de l'ensilage (démarrage rapide de la fermentation lactique).

(2) : Pouvoir tampon élevé et mauvaises conditions de réalisation de l'ensilage (démarrage lent de la fermentation lactique). Les ferments butyriques peuvent germer.

(3) : Pas assez de sucres, soit parce que la plante sur pied n'en contient pas assez, soit parce que ceux-ci ont été brûlés par une respiration qui s'est prolongée trop longtemps.

(4) : pH abaissé vers 4,5 avec l'acide formique, puis relais par les ferments lactiques.

Source : Dulphy et Demarquilly, 1978.

Les espèces saccharolytiques transforment les sucres résiduels et l'acide lactique déjà formé en acides butyrique et acétique, en gaz carbonique et en hydrogène. Comme deux molécules d'acide lactique ne forment qu'une molécule d'acide butyrique, il y a remontée du pH et la réaction s'accélère.

Les espèces protéolytiques s'attaquent aux acides aminés pour les transformer soit en ammoniac, acides gras volatils et gaz carbonique, soit en amines dont certaines sont toxiques. Il s'agit alors d'une putréfaction. L'ensilage est instable et se dégrade de plus en plus.

Certaines bactéries lactiques peuvent aussi décomposer la sérine et l'arginine (Brady, 1965, cité par Dulphy et Demarquilly, 1978) en ammoniac et acides gras volatils, de sorte que l'on trouve toujours de l'ammoniac dans les ensilages très bien réussis. Cependant, il représente alors moins de 5% de l'azote total.

1.3 Action des champignons

Deux types de champignons peuvent se développer dans les ensilages: les levures, micro-organismes unicellulaires pouvant se développer en présence ou en absence d'oxygène, et les moisissures, organismes pluricellulaires filamenteux se développant en présence d'oxygène.

La présence de moisissures lors de l'ouverture d'un silo indique que la phase aérobique initiale a été anormalement longue ou que le silo n'est pas étanche.

C'est principalement après l'ouverture du silo que les moisissures et les levures peuvent entraîner une dégradation aérobie importante et rapide dans les ensilages bien conservés. Leur activité peut se dérouler même à des pH inférieurs à 4,0. Dans les mauvais ensilages, leur développement est freiné par la présence d'acides butyrique et propionique qui ont une action anti-fongique.

D'après Beck (1963), les levures sont les principaux agents de dégradation de l'ensilage après ouverture du silo. Leur développement est très rapide en présence d'oxygène. L'ensilage devient peu appétissant ou est totalement rejeté par les animaux et son ingestion entraîne des diarrhées.

1.4 Pertes en cours d'ensilage

Il est difficile d'établir des niveaux de pertes de matière sèche, d'énergie ou de protéine typiques des ensilages à cause d'un trop grand nombre de facteurs pouvant varier.

Zimmer et al.(1980) ont catégorisé et quantifié les pertes d'énergie des ensilages (tableau 1.4). Ils ont conclu que les pertes inévitables sont au plus de 7% mais que divers facteurs contrôlables peuvent porter les pertes d'énergie à 40% et plus.

Tableau 1.4. **Synthèse des pertes d'énergie des ensilages.**

Phénomène	Classification	Pertes (%)	Cause
A. Respiration	inévitables	1-2	Enzymes
B. Fermentation	inévitables	2-4	Micro-organismes
C. Effluents ou D. Préfanage	mutuellement inévitables	5- >7 ou 2- >5	Teneur en M.S. Température, régie, espèces végétales
E. Fermentation secondaire	évitables	0- >5	Culture, silo, % M.S.
F. Détérioration aérobie pendant l'entreposage	évitables	0- >10	Vitesse à remplir, densité, étanchéité
G. Détérioration aérobie après l'ouverture	évitables	0- >15	Tel qu'en F, % M.S., technique de reprise, saison
Total		7- >40	

Source: Zimmer et al., 1980, cité par McDonald,1981.

1.5 Aptitude des plantes à l'ensilage

L'aptitude des plantes à l'ensilage est déterminée par leur capacité à atteindre rapidement un pH de stabilité. Cette baisse de pH est fonction de la teneur en sucres solubles et du pouvoir tampon des plantes.

La teneur en sucres solubles dépend de l'espèce végétale et de plusieurs autres facteurs. Les graminées en contiennent généralement plus que les légumineuses. La fertilisation azotée et les températures élevées ont un effet dépresseur sur les sucres alors que l'intensité lumineuse en accroît la teneur. Celle-ci subit aussi des variations journalières (Smith, 1973, Waite and Boyd, 1953, cités par McDonald, 1981). Le tableau 1.5 montre que des fourrages fauchés en fin d'après-midi contiennent plus de sucres solubles que ceux fauchés le lendemain matin. Durant la journée, la photosynthèse permet l'accumulation de matière sèche et de sucres, tandis que durant la nuit les sucres sont convertis en gaz carbonique et en eau par la respiration. De plus la respiration de la plante coupée semble plus faible que celle de la plante sur pied. Ainsi, lorsque la teneur en sucres solubles varie de façon significative durant la journée, la fauche en fin d'après-midi peut être avantageuse pour un fourrage qui sera conservé sous forme d'ensilage. C'est particulièrement le cas lorsque la teneur en sucres se situe autour de la limite critique. Le concept de teneur critique, pour une fermentation adéquate sans addition d'acide, est utilisé en Angleterre. Le niveau couramment suggéré se situe à 3% du poids frais (Wilkinson, 1981) pour des ensilages à 20-25% de matière sèche.

Tableau 1.5. **Influence de l'heure d'échantillonnage et de coupe sur la teneur en sucres solubles de l'herbe coupée pour l'ensilage.**

Heure de coupe	Heure d'échantillon	Sucres solubles (% de la M.S.)
8 août 16 h	8 août 16 h	11,7
9 août 9 h	9 août 9 h	8,3
8 août 16 h	9 août 9 h	11,0

Source: Wieringa, 1969.

Le pouvoir tampon des plantes définit leur capacité à résister à une variation de pH. Un faible pouvoir tampon indique qu'il faut peu d'acide pour atteindre le pH de stabilité souhaité dans les ensilages. Le tableau 1.6 donne un aperçu du pouvoir tampon de quelques espèces. De façon générale, celui-ci est plus élevé chez les légumineuses.

Les graminées sont donc plus faciles à ensiler que les légumineuses parce qu'elles possèdent des caractéristiques plus favorables à l'abaissement du pH. La teneur en matière sèche lors de la récolte est donc moins critique pour les graminées. Par contre, l'acidification des légumineuses étant plus difficile, le pH de stabilité est plus difficilement atteint à des teneurs faibles en matière sèche. Par conséquent, la teneur minimum en matière sèche suggérée pour l'ensilage est plus élevée pour les légumineuses que pour les graminées.

Tableau 1.6. **Pouvoir tampon de quelques plantes fourragères.**

Espèces	Pouvoir tampon (m.éq. NaOH/kg M.S.)
Maïs fourrager	200
Fléole	288
Dactyle	300
Luzerne	480
Trèfle blanc	512
Trèfle rouge	560

Source: Woolford, 1984 et McDonald, 1981.

RÉSUMÉ

1- L'ensilage est un processus de fermentation anaérobie visant à conserver les fourrages verts ou d'autres aliments à l'état humide, avec le minimum de pertes de matière sèche et de valeur nutritive, sans formation de produits de fermentation dangereux pour la santé des animaux.

2- Le processus d'ensilage s'accompagne de pertes inévitables de matière sèche, d'énergie et d'azote protéique. Ces pertes sont dues aux phénomènes enzymatiques des plantes après la fauche (respiration cellulaire, protéolyse des protéines) et aux activités des bactéries et champignons.

3- Bien qu'essentielle à l'élimination d'oxygène après la mise en silo, la respiration cellulaire se traduit par une perte minimale d'énergie de 1 à 2% et une augmentation de chaleur de l'ensilage. Dans des mauvaises conditions d'étanchéité, les élévations de température supérieures à 40°C provoquent une baisse de digestibilité des protéines (tableau 1.1) qui ne peut être diagnostiquée que par analyse spéciale (N-A.D.F.).

4- La protéolyse est une dégradation des protéines en acides aminés qui sont moins bien utilisées par les animaux. C'est un phénomène normal des enzymes de la plante mais qui peut être accentué par les bactéries butyriques protéolytiques dont il faut empêcher le développement.

5- Certaines pertes dues aux fermentations secondaires et à la présence de champignons peuvent être évitées par une bonne régie lors de la mise en silo ou de la reprise, par un respect des normes de teneur en matière sèche spécifiques à chaque type d'ensilage et par une bonne étanchéité.

6- L'appréciation chimique de la qualité de conservation des ensilages repose sur plusieurs critères imparfaits:

- le pH en relation avec la teneur en matière sèche de l'ensilage (figure 1.1)
- le % de protéine endommangée par la chaleur en sus de 1,9% (N-A.D.F. x 6,25 - 1,9%)
- la quantité d'acide acétique et butyrique (non disponible dans les laboratoires du M.A.P.A.Q.) (tableau 1.2)
- la quantité d'azote soluble et d'azote ammoniacal en proportion de l'azote total (tableau 1.2).

7- Trois conditions sont essentielles à la réussite d'un ensilage:

1- des plantes vivantes qui respirent et qui ont un bon contenu en sucres solubles;

2- éliminer rapidement l'oxygène emprisonné dans la masse;

3- atteindre et maintenir un pH de stabilité déterminé par la teneur en matière sèche du produit.

2. LES TECHNIQUES D'ENSILAGE DE BALLES RONDES

La conservation des fourrages humides sous forme de grosses balles rondes constitue un mode de conservation unique en son genre pour trois raisons: 1° la même machinerie sert pour l'ensilage et le foin; 2° le fourrage est ensilé à l'état long (non haché); 3° chaque balle peut être conservée individuellement. La réussite d'un tel ensilage dépend largement des précautions prises à la récolte et lors du recouvrement avec un film de polyéthylène. On traitera tour à tour des facteurs de réussite à la récolte et à l'entreposage.

2.1 Fauche, conditionnement et manipulation des andains

Dans cette section, on décrira divers types de faucheuses et de conditionneurs et on montrera l'influence de la largeur des andains et de leur manipulation sur le séchage du fourrage.

2.1.1 Types de faucheuses et de conditionneurs

Il existe trois types de machines pour faucher les fourrages, soit la faucheuse à barre de coupe, la faucheuse rotative à disques ou à tambours et la faucheuse rotative à fléaux.

Les faucheuses à barre de coupe exigent peu d'énergie par rapport aux faucheuses rotatives. Par contre, les barres de coupe ont plus tendance à bourrer dans les fourrages denses ou versés; elles exigent beaucoup d'entretien pour l'affûtage des couteaux et leur remplacement fréquent. C'est pourquoi les faucheuses rotatives, particulièrement celles à disques ou à tambours, gagnent en popularité; elles permettent de travailler à plus grande vitesse qu'avec les barres de coupe, sans risquer de perdre beaucoup de temps en réparation.

Les faucheuses rotatives exercent une certaine succion lors de leur opération. Elles peuvent aspirer de la poussière du sol qui se retrouvera mêlée au fourrage. Cela ne cause pas d'inconvénient quand l'ensilage est demi-sec.

Les faucheuses à fléaux ont la particularité de hacher grossièrement les tiges en plusieurs morceaux, contrairement aux autres faucheuses qui coupent la tige en un seul point à la base. Ce hachage grossier accroît la vitesse de séchage au champ; il accroît aussi les pertes puisque beaucoup de brins courts sont perdus lors des manipulations subséquentes. On considère généralement que les faucheuses à fléaux causent trop de dommages pour être utilisées pour la récolte du foin. Elles sont surtout utilisées pour la récolte de l'ensilage d'herbe en coupe directe et l'affouragement en vert (zéro-pâturage). Certaines faucheuses à fléaux conçues pour laisser le fourrage en andain, peuvent présenter un certain intérêt pour l'ensilage de balles rondes. En principe les brins hachés libèreront les sucres solubles plus rapidement pour la fermentation que les tiges longues obtenues avec les autres faucheuses.

Outre le tronçonnage, réalisé par la faucheuse à fléaux, quatre méthodes pour conditionner les tiges des fourrages, soit le broyage, le crêpage, le martelage et le frottement, sont décrites dans le guide des plantes fourragères (C.P.V.Q., 1989). Les conditionneurs à rouleaux effectuent du broyage ou du crêpage, selon que les rouleaux sont lisses ou crénelés. Les faucheuses-conditionneuses à rouleaux récentes sont équipées de rouleaux crénelés dont les barrettes sont larges, de façon à écraser les tiges tout en les pliant, combinant broyage et crêpage. Les conditionneurs à fléaux peuvent réaliser le conditionnement du fourrage par martelage ou par frottement, selon qu'ils projettent les tiges coupées contre le capot de la faucheuse ou qu'ils enlèvent par abrasion une partie de la pellicule cireuse (cuticule) à la surface des tiges, à l'aide de doigts de plastique rigide ou articulés montés sur un rotor.

Au tableau 2.1 on compare cinq faucheuses-conditionneuses en termes de séchage, pertes au champ et besoin en énergie. Le séchage plus rapide et les pertes accrues observées avec les faucheuses à fléaux sont mises en évidence.

En ce qui concerne la puissance de récolte, la faucheuse-conditionneuse avec barre de coupe et rouleaux utilise moins de puissance à la prise de force et de deux à trois fois moins de carburant par tonne de matière sèche récoltée que les autres machines (Savoie et al., 1988). Pour un même mécanisme de fauche (disques), le conditionnement avec rotor à doigts nécessite plus de puissance (31 contre 18 kW) et plus de carburant que le conditionnement avec rouleaux. Par ailleurs, pour un même conditionnement (rouleaux), la faucheuse à tambour demande beaucoup plus de puissance (38 kW contre 18 ou 14 kW) que les faucheuses à disques et barre de coupe; le diamètre plus élevé des tambours induit un couple plus grand et la puissance requise est proportionnelle au couple.

Tableau 2.1. **Comparaison de cinq faucheuses-conditionneuses en termes de séchage, pertes au champ et besoin en énergie.**

Genre de faucheuse	Genre de conditionneur	Temps de séchage (h)[1]		Pertes mécanique après ratelage (%)	Consommation de carburant (L/tms)	Puissance max. à la prise de force (kW)
		T60	T20			
1. Barre de coupe	Rouleaux éclateurs	7,4	33,0	3,0	0,24	14
2. À fléaux	Fléaux	6,7	31,0	6,2	0,61	31
3. À disques	Rouleaux éclateurs	7,2	32,4	2,9	0,51	18
4. À disques	Fléaux (frottement)	9,0	49,4	2,9	0,84	31
5. À tambour	Rouleaux éclateurs	8,3	35,5	2,4	0,74	38

[1] : T60 et T20 représentent le temps total au champ, incluant les périodes nocturnes, pour faire sécher le fourrage de 80% de teneur en eau initiale à 60 et 20% de teneur en eau finale, respectivement. Ces temps, obtenus par calcul, supposent une fauche matinale, 12 heures de séchage par jour et 12 heures sans séchage durant la nuit.
Adapté de : Rotz et Sprott, 1984.

Pour récolter l'ensilage de balles rondes, il est souhaitable d'obtenir un préfanage rapide jusqu'à 40% de matière sèche environ. Cela peut nécessiter environ 24 heures par suite de la formation d'un andain étroit facile à ramasser avec la presse sans manipulation subséquente.

2.1.2 Largeur et manipulations des andains

Plusieurs modèles de faucheuses ont des déflecteurs à l'arrière qui permettent de faire varier la largeur des andains au moment de la fauche. La formation d'andains étroits à la coupe peut éliminer le besoin de râteler. Par contre le séchage est généralement ralenti dans des andains étroits.

Il est moins important de se soucier de la vitesse de séchage pour l'ensilage que pour le foin. En pratique le fourrage coupé le matin, à 20% de matière sèche, aura de 40% à 45% de matière sèche à la fin de la première journée s'il est laissé en andain large et de 35% à 40% s'il est laissé en andain étroit. Ainsi, les andains étroits retarderont la récolte de l'ensilage seulement de quelques heures par rapport aux andains larges.

Un andain même étroit séchera suffisamment dans une période de 24 heures environ, pour permettre la récolte de l'ensilage de balles rondes à une teneur en matière sèche de 40 à 50%, le lendemain de la fauche. Il faut organiser les chantiers d'ensilage de balles rondes lorsqu'on prévoit au moins deux journées de beau temps.

La formation d'un andain étroit (1,20 m) pour l'ensilage est généralement un compromis très acceptable puisqu'il n'est pas nécessaire d'effectuer un râtelage par après, contrairement aux

andains larges (1,60 m et plus). Pour l'ensilage, on peut amasser l'andain étroit avec la presse à balles rondes, sans autre manipulation. Par ailleurs il est souhaitable que la largeur des andains soit presque aussi grande que la largeur du ramasseur d'andain de la presse à balles rondes. Les balles seront alors relativement uniformes. Quand les andains sont trop étroits, l'opérateur de la presse doit alimenter alternativement chaque côté du ramasseur pour uniformiser la balle.

Lorsqu'on veut récolter le fourrage relativement sec (plus de 60% de matière sèche), les andains étroits peuvent occasionner un retard d'un jour ou deux par rapport aux andains larges. On a alors avantage à faire des andains larges, même si cela nécessite une manipulation supplémentaire, le râtelage.

La manipulation des andains par le fanage, le retournement et le râtelage, en vue d'accélérer et d'uniformiser le séchage, est plus utile pour la récolte du foin que pour l'ensilage. Le foin qui contient moins de 80% de matière sèche devra de plus être ventilé en grange pour éviter son échauffement et le développement des moisissures. Lorsque le foin est mis en balles rondes, il faut plutôt utiliser des additifs antifongiques tel l'acide propionique, ou s'assurer d'avoir un foin très sec, à plus de 80% de matière sèche, puisque le séchage en grange de ces balles n'est pas techniquement à point. Cela est nécessaire pour empêcher le développement des moisissures et l'échauffement du fourrage, et ainsi limiter la baisse de digestibilité et éliminer les risques d'incendie.

2.2 Pressage

La presse à balles rondes permet de récolter le fourrage long fané au champ. Elle forme un rouleau cylindrique de diamètre et de longueur variable. On décrit ci-après les différents modèles de presse actuellement disponibles sur le marché.

2.2.1 Presses à balles rondes

Il existe deux types principaux de presses à balles rondes: les presses avec chambre de compression à volume fixe et les presses avec chambre de compression à volume variable, ou pression constante. On trouve au tableau 2.2 les caractéristiques des divers modèles de presses à balles rondes. Les poids maximaux de balles indiqués dans ce tableau proviennent de données européennes. Ces chiffres peuvent servir de base de comparaison. On doit cependant les interpréter en tenant compte de nos conditions particulières.

Tableau 2.2. **Caractéristiques des presses à balles rondes.**

Modèle type de chambre Variable (V) Fixe (F)	Puissance requise (kW)	Dimensions de la balle diamètre × largeur (mètre)	Poids maximal de la balle (kg)			Attache (1) (C) (F) (P)	Largeur du ramasseur (mètre)	Organe d'enroulement
			Foin	Paille	Ensilage			
Avco New Idea								
484 (F)	37	1,2 × 1,5	250-410	180-320	—	(C)	1,76	Segments de
486 (F)	51	1,8 × 1,5	500-825	275-500	—	(C)	1,76	courroies
Claas - Rollant								
Rollant 34 (F)	33	1,2 × 0,9	200	100	400	(C)	1,55	
Rollant 44 (F)	40	1,2 × 1,2	200-350	120-210	600		1,55	Rouleaux
Rollant 62 (F)	50	1,5 × 1,2	350-600	200-350	1 000		1,55	
Rollant 85 (F)	60	1,8 × 1,5	450-850	300-500	1 000		1,70	
Deutz-Allis								
GP 2,30 (F)	33	1,2 × 1,2	225-240	150-160	450-480	(C) (F)	1,67	
GP 2,50 (F)	42	1,5 × 1,2	350-370	235-255	700-740	(C) (F)	1,67	Rouleaux
GP 2,80 (F)	52	1,8 × 1,5	635-850	410-500	—	(C) (F)	1,67	
Deutz-Fahr								
GP 2,30 (F)	37	1,2 × 1,2	180-300	120-180	450-500	(C) (F)	1,70	Rouleaux
GP 2,50 (F)	44	1,5 × 1,2	300-500	200-300	700-1000	(C) (F)	1,70	
Ford New Holland								
841 (V)	44	1,68 × 1,2	520	490	745	(C)	1,40	Chaines et
849 (V)	47	1,5 × 1,44	385-450	260-295	500-545	(C)	1,40	barrettes
850 (V)		1,8 × 1,5	700-865	—	—	(C)	1,80	
Fort								
MIG-F21 Junior	37	1,2 × 1,2						
MIG-F21	37	1,2 × 1,5				(C)	1,55	
Gelh								
RB 1460 (V)	37	1,5 × 1,2	325	290	560	(C)	1,50	Courroies
Hesston								
5650 (V)	29	1,5 × 1,2	275	175	500	(C)	1,40	Courroies
5670 (V)	40	1,8 × 1,2	350	250	500	(C)	1,40	Courroies
John Deere Ltd								
540 (V)	33	1,2 × 1,2	—	—	—	(C)	1,20	
545 (V)	35	1,2 × 1,2	—	—	—	(C)	1,20	Courroies
550 (V)	37	1,2 × 1,2	—	—	—	(C)	1,20 Option 1,5	
Krone								
KR 100 (F)	22	0,9 × 1,2	150	120	260			
KR 125 (F)	25	1,2 × 1,2	300	180	600			Barres
KR 155 (F)	29	1,5 × 1,2	500	300	1 000	(C) (F) (P)	1,50	rotatives
KR 130 (F)	25	1,2 × 1,2	300	180	600			libres
KR 160 (F)	29	1,5 × 1,2	500	300	1 000			
Massey-Ferguson								
M-F 1455E (V)	44	1,5 × 1,2	590	590	590	(C)	1,20	Courroies
M-F 1560	—	1,8 × 1,5	—	—	—	(C)	1,50	Courroies
M-F 1565 (V)	44	1,8 × 1,5	700	700	—	(C)	1,50	Courroies
Vermeer								
503 I	29	1,5 × 0,9	—	—	325	(F) (P)	0,90	Courroies
604 J	51	1,8 × 1,2	—	—	775	(F) (P)	1,20	Courroies
605 J	51	1,8 × 1,5	—	—	1 000	(F) (P)	1,50	Courroies
Vicon ltd								
RP 1250 (V)	37	1,5 × 1,2	300	250	500	(C)	1,50	Courroies
Welger								
RP 12	37	1,2 × 1,2	300	180	—	(C) (F) (P)	1,50	Rouleaux
RP 15	44	1,5 × 1,2	500	300	—	(C) (F) (P)	1,50	Rouleaux
RP 150 S	47	1,5 × 1,2	500	350	—	(C) (F) (P)	1,50	Courroies
R 180	47	1,8 × 1,2	800	500	—	(C)	1,80	Courroies

(1) C = Corde F = Filet P = Plastique.

2.2.1.1 Presses à chambre fixe

Les presses avec chambre à volume fixe permettent de confectionner des balles de diamètre constant puisque les organes d'enroulement sont fixes. Les dimensions disponibles sont d'une largeur comprise entre 0,90 et 1,50 m par un diamètre de 1,2 m, 1,5 m ou 1,8 m.

Au cours des rotations, les couches extérieures sont progressivement repoussées vers le centre de la chambre. Le fourrage est ainsi comprimé de l'extérieur vers l'intérieur, ce qui donne généralement une balle dont la périphérie est plus dense que le centre.

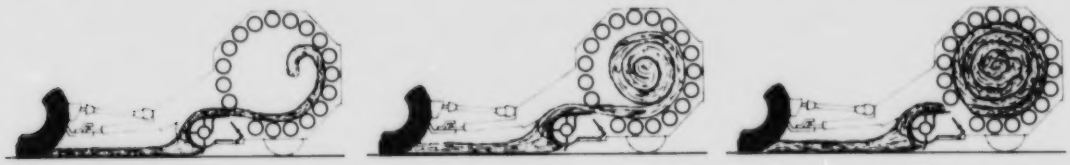


Figure 2.1. **Presse à chambre fixe.**

2.2.1.2 Presses à chambre variable

Les presses avec chambre de compression à volume variable permettent de varier le diamètre des balles. La compression de l'andain s'effectue dès le début de son enroulement. L'augmentation progressive et régulière du diamètre de la balle déplie le bras tendeur qui applique sur le «tapis roulant» une pression constante.

Cette conception présente l'avantage d'aboutir à la confection d'une balle de densité uniforme et de diamètre réglable. La densité à l'intérieur des balles est beaucoup plus homogène; la différence de densité entre le centre et les couches périphériques est moins marquée. Les balles peuvent être plus denses avec ce type de presse, ce qui est souhaitable pour la conservation de l'ensilage.

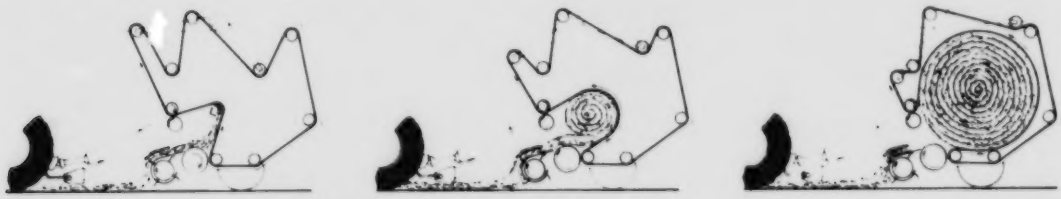


Figure 2.2. **Presse à chambre variable.**

2.2.1.3 Mécanisme d'enroulement

Les presses à balles rondes se distinguent aussi par leur mécanisme d'enroulement: rouleaux métalliques, chaînes et barrettes, segments de courroie et grandes courroies.

Les rouleaux métalliques et les segments de courroie sont propres aux presses à chambre fixe, tandis que les grandes courroies caractérisent les presses à chambre variable. Les chaînes et barrettes, quant à elles, se trouvent sur les deux types de presse.

Dans le cas des presses à chambre fixe, on constate que les modèles avec segments de courroie amorcent mieux la formation de la balle, ce qui permet de limiter la compression finale, alors que les modèles avec rouleaux métalliques ont l'avantage d'un mécanisme d'enroulement très résistant qui permet d'appliquer une plus grande pression et d'enrouler du fourrage humide dans toutes les conditions.

Dans le cas des presses à chambre variable, la puissance maximale requise lors de la fabrication d'une balle est généralement moins élevée avec les modèles à longues courroies alors que les modèles avec chaînes et barrettes permettent d'appliquer une plus grande pression mais nécessitent plus d'entretien.

2.2.1.4 Pertes au pressage

Les premières presses à balles rondes apparues sur le marché vers 1975 occasionnaient des pertes importantes à la récolte, soit de l'ordre de 15% à 20% dans le foin de luzerne (P.A.M.I., 1977). Les manufacturiers ont depuis ce temps considérablement amélioré l'efficacité des presses à balles rondes, réduisant les pertes à la récolte à environ 3% (P.A.M.I., 1988).

RÉSUMÉ

	CHAMBRE FIXE	CHAMBRE VARIABLE
Avantages	Les rouleaux métalliques sont des organes d'enroulement très résistants (peu de bris) qui permettent d'enrouler du fourrage humide dans toutes les conditions.	Permet de varier le diamètre selon le besoin (ensilage ou foin). Fait une balle de densité uniforme.
Inconvénients	Balle de densité moins uniforme. Diamètre de balle fixe. Perte de matière sèche plus importante.	Les courroies semblent être un peu moins bien adaptées à enrouler du fourrage humide.

2.2.2 Densité des balles

Pour faciliter le transport, obtenir une bonne stabilité des tas et faire un bon ensilage, il est important de presser les balles rondes le plus uniformément et le plus densément possible. L'uniformité des balles s'obtient en ramassant des andains larges. Avec des andains irréguliers ou trop étroits, il faut, à moins d'avoir un contrôle automatique de la densité, alimenter alternativement chaque côté du ramasseur sans zigzaguer.

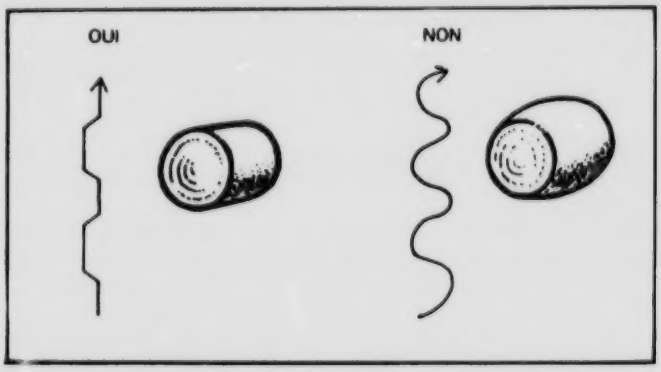


Figure 2.3. **Méthode pour obtenir une balle de bonne densité sur toute sa largeur à partir d'un andain étroit.**

Les principaux facteurs qui influencent la densité des balles sont l'ajustement du contrôle de compression, la catégorie de presse, la grosseur de l'andain, la vitesse d'avancement, le pourcentage de matière sèche du fourrage récolté et le type de plante.

Plus l'andain est gros et plus la vitesse d'avancement est élevée, plus la couche de matériel qui entre est épaisse et difficile à compresser.

Un fourrage humide est plus lourd et nécessite une plus forte tension pour être compressé. Pour un diamètre donné de balle et une compression donnée, la quantité de matière sèche par balle est donc plus faible lorsque le fourrage est humide (tableau 2.3).

Étant donné que plusieurs facteurs influencent la densité des balles, il est assez difficile de prédire avec une certaine précision le poids des balles rondes. Cependant, à titre d'indication, on trouve au tableau 2.3, le poids des balles et la quantité de matière sèche par balle, pour des densités typiques de chaque pourcentage de matière sèche. En fait la densité des balles peut varier entre 100 et 200 kg M.S. / m^3 selon le pourcentage de matière sèche du fourrage ensilé, le type de presse et la pression appliquée. Cependant, lorsque le fourrage est ensilé à 40% de matière sèche, la densité se situe généralement entre 130 et 160 kg M.S. / m^3 dans le cas des balles de 1,5 m x 1,2 m et entre 140 et 170 kg M.S. / m^3 pour les balles de 1,2 m x 1,2 m.

Tableau 2.3. **Masse moyenne des balles rondes selon leurs dimensions et la teneur en matière sèche du fourrage.**

Dimensions diam. x larg. (m)	Volume (m^3)	Masse humide (kg) Teneur en M.S. 25%	40%	55%	Masse sèche (kg) Teneur en M.S. 25% (1)	40% (2)	55% (3)
0,9 x 1,2	0,76	340	275	249	84	110	137
1,2 x 1,2	1,35	592	490	442	148	196	243
1,2 x 1,5	1,70	748	615	556	187	246	306
1,5 x 1,2	2,12	932	767	695	233	307	382

(1) Densité de matière sèche de 110 kg/m^3.
(2) Densité de matière sèche de 145 kg/m^3.
(3) Densité de matière sèche de 180 kg/m^3.
Remarque: Les presses à chambre variable permettent généralement d'obtenir des balles dont la masse est de 10% à 20% supérieure à celle obtenue avec des presses à chambre fixe.

Pour faire varier la densité des balles, on doit faire les réglages indiqués dans le guide de l'opérateur, dans le cas des presses à déclenchement automatique de l'attache. Pour les presses à déclenchement manuel de l'attache, il suffit d'arrêter d'alimenter la presse lorsque la pression atteint le niveau désiré, tout en respectant les spécifications du manufacturier. On peut vérifier le résultat en pesant des balles enroulées selon différents niveaux de pression.

2.2.3 Capacité de pressage (balles récoltées par heure)

La capacité de pressage dépend du temps de pressage, de ficelage et d'éjection de la balle.

Le temps de pressage d'une balle est influencé par la grosseur de l'andain et la vitesse d'avancement de la presse.

Le temps de ficelage dépend du nombre de tours d'enroulement (minimum 5 tours/m de largeur + 4 tours), du type de liage (c'est-à-dire 1 ficelle, 2 ficelles ou filet) et de la sorte de commande d'attache (manuelle, automatique).

Le temps d'éjection peut être réduit considérablement si la presse est équipée d'une rampe de déchargement (éjecteur) maintenant disponible sur la plupart des modèles.

La capacité d'une presse standard (1 ficelle, éjecteur) dans un champ uniforme, d'un rendement de 3,8 à 4,5 t/ha (1,7 à 2 t/acre), serait la suivante:

Dimensions la chambre (m)	**Capacité**	
Diamètre X Largeur	**Nb balles/heure**	**T.M.S./h**
1,2 X 1,2	25 - 30	5 - 6
1,5 X 1,2	20 - 25	6 - 8

Cette capacité peut cependant varier selon la grosseur de l'andain et l'état du terrain.

2.3 Reprise au champ et transport au site d'entreposage

A moins d'avoir une enrobeuse au champ, les balles d'ensilage doivent être transportées et mises en silo le plus tôt possible (le jour même du pressage).

On utilise généralement le wagon avec plate-forme d'une capacité de 8 à 11 balles (de 1,2 m X 1,2 m) pour le transport des balles rondes, alors que pour les autres manutentions (chargement, déchargement, mise sous plastique), le principal équipement utilisé est le chargeur frontal. Celui-ci peut être équipé de différentes façons:

- le chargeur équipé de dents (pointes) convient bien pour la mise en sac ou en tube;
- le chargeur spécialisé pour balles rondes enrobées permet de les manutentionner sans perforer le plastique;
- le chargeur équipé d'une pince à balles rondes permet en plus d'empiler les balles en colonnes (figure 2.4).

Figure 2.4. **Pince à balles rondes.**

La capacité de transport et de mise en silo (nb balles/heure) d'un système de manutention dépend de plusieurs facteurs:

- la distance champ-silo;
- la méthode d'entreposage (balles en ligne, pyramide 2:1, sacs individuels, conformateur, enrobeuse);
- le nombre de personnes et le type de machines utilisées.

Des observations ont été faites sur les temps de chantier pour le maillon transport et mise en silo avec équipement standard (chargeur et wagon). La capacité moyenne de transport et de mise en silo, pour une distance moyenne «champ-silo» d'un km, apparaît au tableau 2.4.

Tableau 2.4. **Capacité de transport et de mise en silo. (1)**

Méthode d'entreposage	Capacité (nombre de balles/heure)		
	Nombre de personnes		
	1	2	3
Sac	—	10	14
Ligne	8	19	22
Ligne avec conformateur	—	18	—
Pyramide 2:1	12	22	25
Enrobeuse (2)	6	13	17

(1) Pour une distance moyenne champ-silo d'un km.
(2) Enrobage au site d'entreposage.

Le chantier «transport-mise en silo» le plus rapide est celui des balles entreposées en pyramide 2:1. Lorsque les balles sont placées «en ligne», la capacité est légèrement plus faible (19 balles/heure contre 22). La méthode d'entreposage en sacs individuels est la plus lente et la plus exigeante en main-d'oeuvre. Un chantier d'enrobage au site d'entreposage a des performances qui sont intermédiaires entre celles de la méthode d'entreposage en sac et de la méthode en ligne. L'utilisation d'un conformateur pour placer les balles en ligne n'améliore pas la capacité d'un chantier à deux personnes, parce que la deuxième personne n'est utile que pour la mise du plastique sur la machine et la fermeture des deux extrémités du silo.

2.4 Mise en silo

L'absence d'air dans l'ensilage de balles rondes est assurée seulement par un mince film protecteur. Il est donc essentiel de prendre toutes les précautions pour obtenir un scellage parfait lors de la mise en silo et pour le maintenir par la suite. On traitera ci-après des caractéristiques du site d'entreposage, de la qualité du film de recouvrement et des différentes méthodes de disposition des balles.

2.4.1 Site d'entreposage

On doit prendre certaines précautions pour prévenir la perforation des films de polyéthylène par les rongeurs, les oiseaux et autres prédateurs. Ainsi, l'aire d'entreposage et son pourtour doivent être bien drainés et propres afin d'éliminer les possibilités de nidification. L'usage d'appâts empoisonnés est parfois nécessaire pour éliminer certains prédateurs. Des clôtures électrifiées permettent d'éloigner les grands animaux. Enfin, un filet renforcé ou une bâche double, récupérée d'une bâche déjà utilisée, peut être utile pour protéger le film original contre la grêle et les oiseaux.

Afin de protéger l'ensilage contre les rongeurs, on peut installer autour du site d'entreposage une tôle repliée de 0,5 m de hauteur (figure 2.5). On peut se procurer au M.A.P.A.Q. un plan de parc pour ensilage sous plastique (Quévillon, 1989).

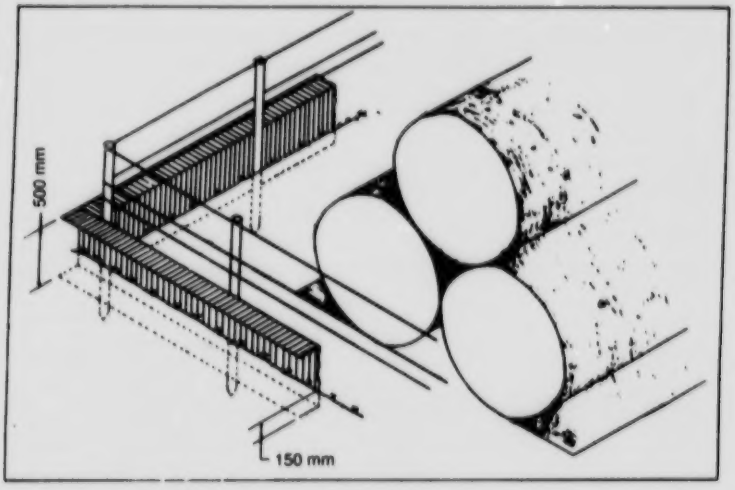


Figure 2.5. **Protection du site d'entreposage contre les rongeurs.**

Une plate-forme et un chemin d'accès ayant une bonne capacité portante pour la circulation de la machinerie sont nécessaires pour la reprise de l'ensilage l'automne et le printemps.

La plate-forme peut être faite d'une couche de sable compacté de 100 mm, sur un lit de sable graveleux de 150 mm. L'usage d'un géotextile recouvert d'une couche de sable peut être souhaitable dans des conditions de sol difficiles. De plus, lorsque la surface est raboteuse, on conseille de la recouvrir d'une vielle bâche, ou feuille de plastique.

2.4.2 Qualité du polyéthylène

Seul le film plastique en polyéthylène est employé pour couvrir l'ensilage de balles rondes. Les films en PVC ne sont pas adaptés à notre climat rigoureux. Pour prévenir les perforations ou déchirures lors du transport et de l'entreposage, on doit se procurer des films en rouleaux préemballés à l'usine dans des boîtes de carton rigide.

Avant d'acheter, il peut être judicieux de comparer, à l'aide des fiches techniques, la résistance à l'impact, la contrainte de rupture en traction (lorsque le film est étiré) et l'allongement en rupture. Il n'existe pas présentement de norme de qualité au Québec. On devrait cependant exiger, au minimum, les performances suivantes: résistance à l'impact de 1,8 g par micron (45 g par millième de pouce d'épaisseur), contrainte de rupture de 15 mégapascals (MPa) et allongement à la rupture de 400% (c'est-à-dire une longueur cinq fois plus grande après étirement que la longueur originale). Dans certaines conditions difficiles (haut risque de grèle, vents et glace fréquents), on peut être obligé de recourir à des films spéciaux à performances de 50 à 100% supérieures à celles indiquées ci-haut.

Il est souvent plus économique de choisir un film plus épais. On trouve sur le marché des films de 100, 125, 150 et 200 microns d'épaisseur (4, 5, 6, et 8 millièmes de pouce). Dans une étude théorique, Savoie (1987) a estimé que les pertes d'ensilage en silo-meule dues à la respiration diminuaient avec l'épaisseur. Ainsi, les pertes étaient estimées à 0,65, 0,43 et 0,32% par mois sous des polyéthylènes de 100, 150 et 200 microns respectivement.

En tenant compte du coût des pertes et du coût du polyéthylène, un film de 100 microns conviendrait pour une durée d'entreposage entre 0 et 3 mois; un film de 150 microns serait préférable pour un entreposage entre 3 et 7 mois; un film de 200 microns serait plus économique pour un entreposage entre 7 et 12 mois. Cependant, lorsqu'on tient compte aussi du risque de perforation à cause des rongeurs, des oiseaux ou des manipulations brusques, on peut préférer une plus grande épaisseur même pour une courte durée d'entreposage.

La couleur du film peut avoir une incidence sur l'absorption de l'énergie solaire. Le film noir absorbe plus les rayons solaires que toute autre couleur. On note généralement des plus hautes températures dans l'ensilage à 1 ou 2 cm sous un polyéthylène noir. Toutefois aucune étude n'a montré de différence notable au niveau de la qualité du fourrage sous des films de différentes couleurs.

Les films noirs contiennent du noir de carbone comme protection contre les rayons ultra-violet (U.V.). Lors de la fabrication du polyéthylène, les manufacturiers ajoutent des résines spéciales au lieu du noir de carbone pour protéger les films de couleur autre que le noir contre les U.V. Une résine inadéquate peut provoquer le craquelage et le fendillement du film après quelques mois d'exposition au soleil. Il faut donc s'assurer que les films de couleur contiennent une bonne résine de protection contre les U.V.

2.4.3 Méthodes d'entreposage

On peut entreposer les balles rondes humides **individuellement**, en les plaçant dans des sacs ou en les enrobant avec un film étirable. Elles peuvent aussi être **regroupées**, en les plaçant en ligne ou en pyramide. La pose du plastique peut alors être réalisée manuellement ou à l'aide d'un conformateur. On présentera ci-après les caractéristiques techniques de chacune de ces méthodes, mais on devra se référer au chapitre 5 pour prendre connaissance de leurs caractéristiques économiques.

2.4.3.1 Balles en sacs individuels

Les sacs individuels offrent beaucoup de souplesse. En France, on recommande l'utilisation d'un plastique d'au moins 150 microns (6 mil.) d'épaisseur. En Angleterre, on utilise couramment des films plus minces d'environ 100 microns (4 mil.) d'épaisseur. La protection accordée aux balles rondes devrait être fonction de la durée d'entreposage. Les balles qui sont utilisées avant l'hiver peuvent bien se conserver dans des sacs de 100 microns d'épaisseur. Par contre, les balles qui ne seront utilisées qu'au printemps suivant sont plus exposées à la détérioration. Les balles qui sont entreposées pour une période supérieure à 4 ou 5 mois devraient bénéficier d'une protection additionnelle: soit par l'utilisation de sacs plus épais, soit par le recouvrement d'un groupe de balles en sac à l'aide d'un second film de protection.

On utilise des sacs de polyéthylène dont les dimensions varient selon celles des balles.

Dimensions des balles	Dimensions des sacs
Diamètre X Largeur	Largeur X Longueur
1,2 m X 1,2 m	2,4 m X 3,2 m
1,5 m X 1,2 m	2,8 m X 3,6 m

Lorsque les balles sont empilées trois rangées de haut de façon à maximiser l'utilisation de la plate-forme et à minimiser les risques de perforation des sacs, la construction d'un mur d'appui (contrefort) peut être utile pour améliorer la stabilité du tas.

Pour faciliter l'expulsion de l'air, on attache les sacs lorsqu'on les a empilés. On ferme le sac de façon hermétique, en enroulant de façon serrée l'extrémité (ouverte) du sac selon la méthode A

ou B (figure 2.6). On attache la base du rouleau (dessin C) avec une ficelle synthétique ou un lien plastique utilisé pour les câbles électriques. Une deuxième attache sur le repli du bout (dessin D) complète l'opération. On peut aussi réaliser la fermeture des sacs à l'aide d'anneaux de castration, ou encore avec des fils de métal du même type que ceux utilisés pour la fermeture des sacs de pomme de terre. Dans ce dernier cas, on recommande de ramener un bout de plastique excédentaire sous l'attache avant de la serrer, de façon à ne pas endommager le sac.

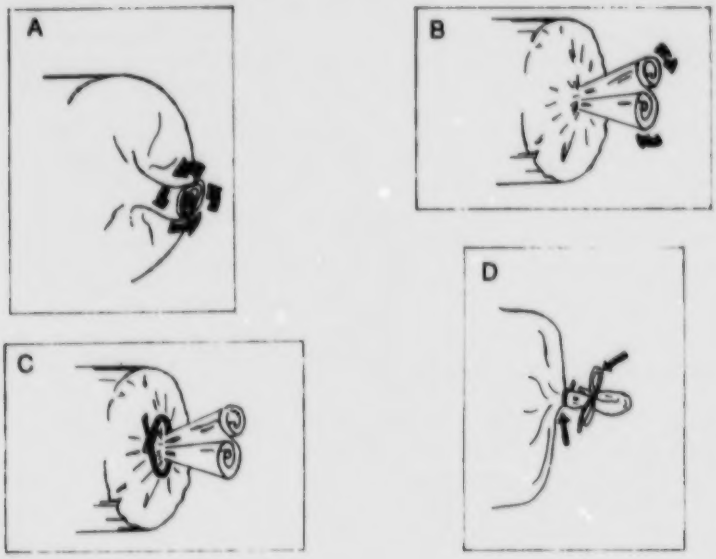
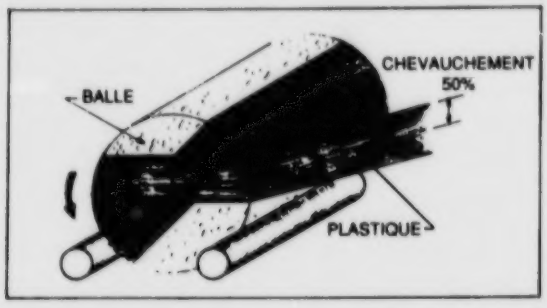


Figure 2.6. **La fermeture hermétique des sacs d'ensilage.**

A et B: la fermeture des sacs.
C et D: l'attache des sacs.

2.4.3.2 Balles enrobées avec un film étirable

De nouvelles ensacheuses utilisent un film très mince (25 microns) étirable pour enrober les balles rondes individuellement (Gaillard, 1987). Le film étirable est enroulé autour de la balle pendant que celle-ci est maintenue en rotation dans le sens de sa longueur et autour de son axe. La meilleure technique d'enrobage semble celle qui consiste à recouvrir la balle en faisant chevaucher les bandes de 50%, pendant qu'on lui fait subir deux rotations complètes autour de son axe longitudinal (figure 2.7). On obtient ainsi quatre épaisseurs de plastique et des joints plus étanches.



Chevauchement des bandes de plastique à 50%

Figure 2.7. **Enrobage des balles rondes avec un film étirable.**

De plus, pour assurer un bon enrobage, on recommande que le film soit étiré à 50%, c'est-à-dire que 30 cm de film non étiré mesurera 45 cm après étirement. Dans ces conditions, un rouleau de film de 1 200 mètres de long permet d'enrober 23 balles de 1,2 m x 1,2 m alors qu'avec un rouleau de 1 800 mètres on peut enrober 33 balles.

Un étirement au-delà de 50% affaiblit trop le film et peut compromettre la durée de conservation. Une vitesse d'enrobage excessive peut être la cause d'un étirement trop prononcé du film, surtout par temps chaud.

Cette technique permet l'enrobage au site d'entreposage ou au champ. Les modèles portés sur l'attache trois points et les modèles stationnaires, actionnés par un petit moteur à essence, conviennent pour l'enrobage au site d'entreposage ou près des champs récoltés, alors que les modèles traînés permettent également l'enrobage au champ, derrière la presse. Un entreposage temporaire des balles enrobées près des champs récoltés permet d'augmenter la capacité de récolte journalière, surtout lorsque les champs sont éloignés. Ces balles peuvent être transportées au site d'entreposage permanent quelques jours ou quelques semaines après la récolte. Il faut alors prendre des précautions pour ne pas perforer le film lors de la manutention des balles enrobées.

D'après certains experts, cette technique permettrait de diminuer les pertes à l'entreposage. Ces dernières ne sont pas complètement éliminées, mais la qualité de conservation est globalement meilleure comparativement aux sacs. Le film, appliqué sous tension, permettrait de restreindre le passage de l'air autour de la balle même lorsque l'enveloppe est perforée.

2.4.3.3 Balles groupées en ligne ou en pyramide

Les balles rondes peuvent aussi être groupées en ligne ou en pyramide. L'entreposage des balles en groupe comporte des avantages intéressants. Cette méthode ne nécessite pas l'attache après chaque balle et le placement des balles est plus rapide que dans les sacs individuels. On réalise une économie de polyéthylène qui peut être supérieure à 50% par rapport aux sacs individuels.

Les principaux inconvénients sont la vulnérabilité accrue à la suite d'une perforation et le besoin d'un film plus épais pour résister aux efforts mécaniques accrus. Si le film recouvrant un groupe de balles est perforé, les pertes peuvent être plus considérables que dans les sacs individuels car plusieurs balles peuvent être affectées par l'infiltration d'air. De plus, lors de la reprise on expose plusieurs balles à l'oxydation chaque fois qu'on lève la toile. L'entreposage de balles en ligne convient pour les entreprises avec un petit troupeau, consommant environ une (1) balle par jour, tandis que l'entreposage en pyramide convient surtout pour les entreprises avec un gros troupeau consommant de grandes quantités de fourrages.

Les balles mises en ligne ou en pyramide sont accolées bout à bout et ensuite recouvertes d'une feuille de polyéthylène d'une épaisseur de 150 ou 200 microns (6 ou 8 mil.). Lorsque les balles sont placées en ligne (figure 2.8), on peut entourer les balles avec une seule feuille de plastique (méthode A) ou utiliser deux (2) feuilles de plastique, l'une placée sous les balles et la seconde en couverture (méthode B). On utilise la seconde méthode pour les balles placées en pyramide (figure 2.9).

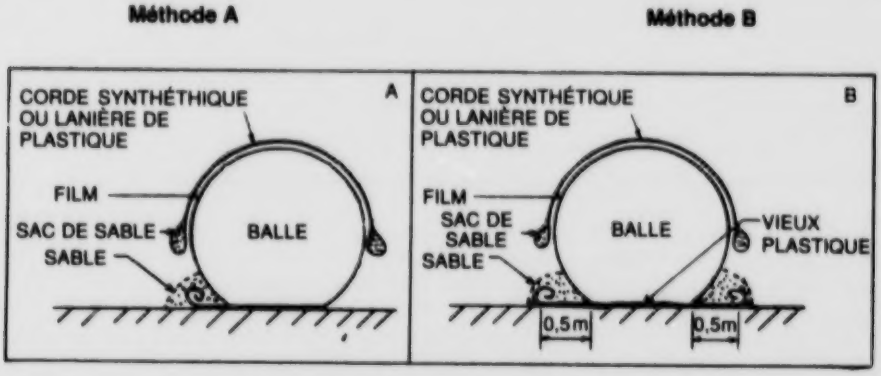


Figure 2.8. **Ensilage de balles rondes en ligne, sans conformateur.**

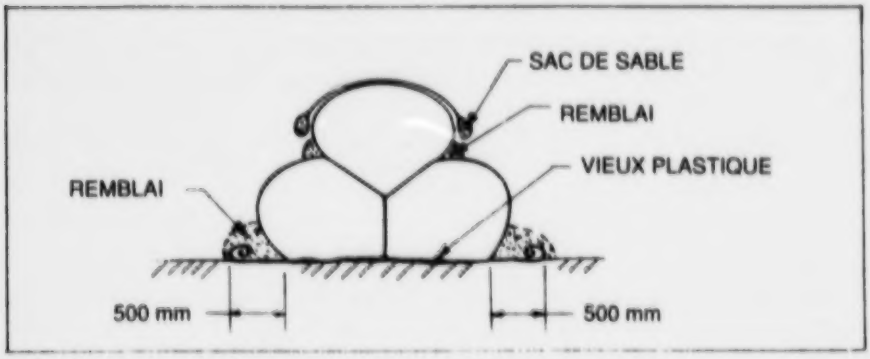


Figure 2.9. **Ensilage de balles rondes en pyramide 2:1, sans conformateur.**

La largeur du film dépend de la méthode choisie et des dimensions des balles.

Tableau 2.5. **Largeur du film plastique pour balles en ligne et en pyramide 2:1, sans conformateur.**

Dimensions des balles (m) Diam. X Larg.	Largeur du film (m)				
	Balles en ligne			Pyramide 2:1	
	Méthode A	Méthode B			
		Dessus	Dessous	Dessus	Dessous
1,2 X 1,2	6,0	4,9	2,0	7,3	3,0
1,5 X 1,2	7,6	6,0	2,4	9,8	4,5

Des remblais de sable au niveau du sol, et aussi au niveau de la première rangée de balles, pour la pyramide, assurent une fermeture parfaite de l'entreposage.

Des sangles reliant deux (2) sacs de sable sont ensuite placées à différents intervalles, de préférence à chaque balle, dans le cas des balles en ligne, et à chaque section de 3 balles pour la pyramide 2:1. Ceci permet une meilleure adhérence du film de polyéthylène et réduit les risques de mouvement d'air en cas de perforation.

Avec un film de 30 m de long, on couvre généralement de 22 à 23 balles de 1,2 m X 1,2 m placées en ligne, et de 58 à 59 balles placées en pyramide 2:1.

2.4.3.4 Conformateur pour balles groupées en ligne ou en pyramide

Les balles rondes entreposées en groupe (ligne ou pyramide) peuvent aussi être mises sous plastique à l'aide d'un conformateur. Quelques manufacturiers offrent maintenant des conformateurs pour des sections d'une seule balle ou encore trois balles disposées en pyramide. Il s'agit de placer les balles, bout à bout ou par groupe de trois selon le cas, dans un long tube de plastique ordinairement de 30 m de longueur. On place le tube, plié à l'avance, sur le conformateur, qui le maintient à la grandeur désirée. On déplace le conformateur, après le dépôt de chaque balle ou à toutes les trois balles selon le cas, de façon à dérouler suffisamment de polyéthylène pour la(les) balle(s) suivante(s). Certains conformateurs pour balles en ligne se déplacent à cause de la poussée exercée par un vérin

hydraulique au lieu d'être tirés par un tracteur. Une sangle reliée à deux sacs de sable est ensuite placée sur le film (de préférence à chaque balle). Un meilleur étanchement et l'élimination des remblais de sable, du moins de chaque côté du silo, sont les principaux avantages de cette méthode. L'investissement pour l'achat de la machine est moins élevé que dans le cas des balles enrobées avec un film étirable.

2.5 Capacité (ou vitesse) d'un chantier de récolte et d'entreposage des fourrages

La capacité d'un chantier, ensemble des opérations de récolte, dépend du nombre de personnes, de la quantité et de la capacité des machines disponibles. On exprime cette capacité en tonnes de matière sèche récoltées par heure ou par jour.

Les opérations ou maillons d'un chantier peuvent être SÉQUENTIELLES (l'une après l'autre) ou SIMULTANÉES. Un chantier d'ensilage préfané de balles rondes comporte des opérations de fauchage et pressage qui sont généralement SÉQUENTIELLES, tandis que dans un chantier d'ensilage humide en silo-meule les opérations sont SIMULTANÉES. Dans les chantiers de récolte de fourrage «ressuyé», comportant de 3 à 4 heures de préfanage, les opérations peuvent être SIMULTANÉES ou SÉQUENTIELLES.

À l'aide des tableaux qui suivent, on peut évaluer la capacité de quelques chantiers sous les conditions suivantes:

- Distance champ-entrepôt: 1 km
- Rendement: 3,5 - 4 T.M.S./ha
- Pente du terrain: environ 3%
- Le plus gros tracteur: 60 à 70 HP
- Dix (10) heures de travail par jour
- Faucheuse de 2,74 m (9 pi) de largeur
- Balles rondes d'ensilage de 1,2 m X 1,2 m (200 kg M.S.)

Tableau 2.6. **Capacité de fauchage.**

Type de faucheuse	Largeur (m)	Capacité (T.M.S./heure)
Faucheuse-conditionneuse à barre de coupe	2,74	4
	3,6	6
Faucheuse-conditionneuse rotative	2,4	7,5
	3,0	10,0

Tableau 2.7. **Capacité de ramassage.**

Équipement de récolte	Grosseur	Capacité (T.M.S./heure)
Presse avec lance-balles	Petite	4
	Moyenne	6
Presse à balles rondes	1,2 m X 1,2 m	6
	1,5 m X 1,2 m	8
Fourragère avec ramasseur	60-70 HP	5
	80-90 HP	7

Tableau 2.8. **Capacité de transport – entreposage.**

Méthode de récolte	Méthode d'entreposage	Capacité (T.M.S./heure) Nombre de personnes 1	2	3
Presse	Sac	—	2,0	3,0
à	Ligne	1,6	3,8	4,4
balles rondes [1]	Pyramide 2:1	2,4	4,4	5,0
(1,2 m x 1,2 m)	Enrobeuse au site d'entreposage	1,2	2,6	3,4
Presse avec lance-balles	Grange pêle-mêle	2	4	6
Fourragère et boîte basculante	Silo-meule	5,5	11	11 [2]

[1] Pour les ensilages de balles rondes, les capacités sont pour des balles de 1,2 m x 1,2 m ayant une masse sèche de 200 kg. Pour des balles plus denses ou de plus grandes dimensions, ces capacités devront être majorés en conséquence.

[2] La capacité de transport-entreposage du chantier d'ensilage en silo-meule avec boîte basculante n'est pas améliorée par l'ajout d'une troisième personne lorsque la distance champ-entrepôt ne dépasse pas 1 km.

La capacité journalière (T.M.S./jour) d'un chantier est la combinaison des capacités de différents maillons qui le composent. Les capacités journalières moyennes de différents chantiers dans les conditions énoncées précédemment apparaissent au tableau 2.9.

Tableau 2.9. **Capacité de fauchage, ramassage, transport et entreposage par jour de 10 heures.**

Méthode de récolte	Méthode d'entreposage	Capacité (T.M.S./jour) Nombre de personnes 2	3	4
Presse	Sac	13	20	27
à	Ligne	19	29	40
balles rondes	Pyramide 2:1	21	33	44
(1,2 m x 1,2 m)	Enrobeuse au site d'entreposage	16	24	32
Presse avec lance-balles	Grange pêle-mêle	18	27	36
Fourragère et boîte basculante	Silo-meule	22	39	39 [1]

[1] La capacité du chantier d'ensilage en silo-meule avec boîte basculante n'est pas améliorée par l'ajout d'une quatrième personne lorsque la distance champ-entrepôt ne dépasse pas 1 km.

Ces capacités sont des moyennes optimales pour l'ensemble des chantiers. Il faudrait ajouter la perte de temps pour les réparations et les retards de récolte reliés au facteur climatique. Elles nous permettent néanmoins de comparer les divers chantiers. Toutes conditions étant égales par ailleurs, on peut conclure de la façon suivante au sujet de la capacité des chantiers (fauchage, ramassage, transport et entreposage) en fonction du nombre de personnes:

- les chantiers à deux personnes ont une CAPACITÉ ÉQUIVALENTE, qu'il s'agisse de FOIN SEC (avec lance-balles et entreposage pêle-mêle), d'ENSILAGE DE BALLES RONDES REGROUPÉES (ligne ou pyramide 2:1) ou de SILO-MEULE AVEC BOÎTE BASCULANTE

- les chantiers à trois personnes sont plus efficaces en SILO-MEULE AVEC BOÎTE BASCULANTE qu'en ENSILAGE DE BALLES RONDES REGROUPÉES (pyramide 2:1 et ligne) et en FOIN SEC (39 T.M.S./jour contre 33, 29 et 27 respectivement)

- les chantiers à quatre personnes sont un peu plus performants en ENSILAGE DE BALLES RONDES REGROUPÉES (pyramide 2:1 et ligne) qu'en SILO-MEULE AVEC BOÎTE BASCULANTE.

Ainsi, de façon générale, avec des machines de même taille, les chantiers d'ensilage en silo-meule avec boîte basculante et les chantiers d'ensilage de balles rondes regroupées (pyramide 2:1 ou ligne) ont des capacités de récolte relativement équivalentes sous les conditions moyennes rencontrées au Québec (pente < 3%, sol ferme, 200 kg de M.S. par balle de 1,2 m X 1,2 m, distance champ-site d'entreposage < 1 km).

Par contre, dans certaines conditions particulières, les chantiers d'ensilage de balles rondes deviennent plus avantageux que les chantiers d'ensilage en silo-meule. C'est le cas notamment pour des terrains montagneux (pente > 3%), où les chantiers d'ensilage de balles rondes, qui demandent moins de puissance, sont plus performants que les chantiers d'ensilage en silo-meule.

De même, les chantiers d'ensilage de balles rondes avec enrobeuse, qui sont moins performants que les chantiers d'ensilage de balles rondes regroupées et d'ensilage en silo-meule lorsque l'enrobage est fait au site d'entreposage, voient par contre leur capacité de récolte journalière augmenter de façon significative lorsque l'enrobage est fait au champ. Ainsi, pour des champs situés loin des sites d'entreposage, les chantiers d'ensilage de balles rondes avec enrobeuse sont avantageux, parce que le transport au site permanent d'entreposage peut être retardé.

2.6 Reprise et distribution

2.6.1 Reprise

La reprise des balles rondes d'ensilage se fait généralement avec un chargeur frontal ou un chargeur spécialisé pour les balles enrobées.

Au cours de l'hiver, on peut reprendre une quantité de balles correspondant à 2 à 3 jours d'alimentation et l'entreposer dans une réserve ou un appentis attenant à l'étable, à condition que la température de la réserve soit en bas du point de congélation.

Lorsque les balles ont été regroupées, on conseille de refermer la bâche après la reprise des balles. A l'automne et au printemps, on rend cette fermeture étanche avec des sacs de sable. Les grosseurs de troupeau permettant de prélever la quantité minimale d'ensilage par jour pour limiter les pertes lors de la reprise dépendent de la méthode d'entreposage, tel que l'indique le tableau 2.10.

Tableau 2.10. **Grosseur minimale de troupeau pour limiter les pertes à la reprise des ensilages de balles rondes.** [1]

Méthode d'entreposage	Balles reprises par jour [2]	Grosseur minimale du troupeau [3]			
		Vaches laitières	Vache-veau	Bouvillons	Brebis
Pyramide 2:1	3	54	65	75	400
Balles en ligne	1	18	22	25	133

[1] Pour l'alimentation en dehors de la saison hivernale.
[2] Prélèvement permettant d'utiliser un groupe de balles en ligne ou en pyramide 2:1 en environ 20 jours.
[3] Pour des balles de 1,2 m x 1,2 m et une alimentation comportant 75% d'ensilage et 25% de foin.

2.6.2 Distribution

Les principales méthodes utilisées pour la distribution des balles à l'intérieur de l'étale, selon le type de bâtiment et de stabulation sont:

- **Balle ronde complète dans une mangeoire mobile circulaire ou rectangulaire**

  Cette méthode, la moins coûteuse et la plus rapide, ne s'applique cependant qu'aux étables à stabulation libre, sans logette. Exemple: une étable froide pour bovins de boucherie.

- **Balle ronde sciée**, transportée dans un chariot manuel et distribuée à la fourche. C'est une méthode surtout utilisée pour les petits troupeaux logés dans des étables à stabulation entravée «queue à queue».

- **Balle ronde complète ou sciée,** manutentionnée avec un treuil. Le déroulement de la balle, lancé manuellement, se continue à l'aide d'un treuil. La balle sera manutentionnée complète ou après avoir été sciée en deux, en fonction de l'espace disponible, selon qu'on a une mangeoire centrale ou une mangeoire simple le long d'un mur.

D'autres méthodes sont aussi utilisées pour la distribution des balles:

- **La dérouleuse motorisée** sert à charger, transporter et dérouler une balle ronde d'ensilage dans une mangeoire centrale ou dans une mangeoire simple le long d'un mur. Elle peut être utilisée aussi bien dans une étable à stabulation libre qu'entravée. L'ensilage étant déroulé sur 4 pieds ou plus, il doit être repoussé devant les vaches à la fin du repas.

- **Les dérouleuses sur rail** se différencient par leur façon de lever la balle (treuil manuel ou électrique), de se déplacer sur le rail (manuel ou motorisé), et de lancer le déroulement de la balle (manuel ou automatique). Les équipements les moins coûteux avec plus de mécanisme manuel s'adressent aux petites fermes, tandis que les plus sophistiqués conviennent aux grosses fermes.

- **Le déchiqueteur** est actionné par la prise de force du tracteur. Il traite une balle complète d'ensilage à la fois et la souffle soit dans un convoyeur-distributeur ou dans un chariot manuel ou motorisé. On peut aussi, dans les étables froides à stabulation libre, souffler l'ensilage directement dans la mangeoire. L'utilisateur doit cependant être averti que plusieurs modèles de déchiqueteurs conçus pour les balles de foin ne peuvent traiter adéquatement les balles d'ensilage.

Actuellement, la distribution des balles à l'intérieur de l'étable est la partie du système d'ensilage de balles rondes qui nécessite le plus de mise au point et d'amélioration. En effet, la distribution des balles rondes est plus difficile à mécaniser et à automatiser que celle de l'ensilage haché.

2.7 Disposition des plastiques

Le polyéthylène soumis à l'action conjuguée du soleil, des bactéries et des acides organiques présents dans l'ensilage subit une dégradation qui affaiblit ses propriétés de résistance mécanique. En général, il n'est pas recommandé de récupérer les films pour les utiliser une deuxième fois pour l'ensilage. En particulier, un film qui a recouvert des balles rondes pendant l'hiver est plus cassant qu'un film neuf et a plus de chance d'être endommagé. On peut réutiliser certaiss films comme fond de meule ou comme recouvrement supplémentaire, au-dessus du film neuf.

Pour disposer des rebuts en polyéthylène d'une façon compatible avec un environnement propre et sain, on a proposé l'utilisation de films biodégradables (Bailey et Gapud, 1985). Ces films contiennent de l'amidon en mélange avec les autres résines. Après leur utilisation, on enfouit ces films sous terre où les bactéries naturelles consomment l'amidon, brisent les chaînes macromoléculaires et désagrègent le film. Ces polyéthylènes biodégradables n'ont pas suscité beaucoup d'intérêt jusqu'ici à cause de leur coût plus élevé (environ 20% de plus selon les manufacturiers). Cependant les quantités importantes de rebuts (jusqu'à 1 000 sacs de polyéthylène par ferme par année) et le souci d'un environnement propre pourraient accroître l'intérêt pour le polyéthylène biodégradable.

La récupération du polyéthylène présente une autre approche au problème de la disposition du plastique. Vink et al.(1984) mentionnent la faisabilité du recyclage du polyéthylène de haute densité. Cependant pour l'ensilage, on utilise plutôt le polyéthylène de basse densité. Flint (1982) rapporte certains essais de récupération de polyéthylène de basse densité. Un problème important est celui du nettoyage du polyéthylène souvent souillé d'herbe.

La combustion du polyéthylène peut sembler une solution simple pour se débarrasser des rebuts. Cependant la présence d'additifs et d'impuretés dans les films est une source de pollution. En plus du CO_2 et du H_2O qui se dégagent normalement, on peut retrouver des gaz toxiques dans les gaz de combustion.

RÉSUMÉ

1- La réalisation d'andains dont la largeur se rapproche de celle du ramasseur d'andains de la presse à balles rondes permet d'éliminer le râtelage et facilite la formation de balles de densité uniforme sans que la récolte de l'ensilage soit retardée de façon importante.

2- La presse à chambre variable fait une balle de densité uniforme, tandis qu'avec la presse à chambre fixe la surface de la balle est plus dense que le centre.

3- Les principaux facteurs qui influencent la densité des balles sont la catégorie de presse, le réglage du contrôle de compression, la grosseur de l'andain, la vitesse d'avancement, le pourcentage de matière sèche du fourrage récolté et le type de plante.

4- Il est essentiel de prendre toutes les précautions pour obtenir un scellage parfait lors de la mise en silo et pour prévenir les perforations par les rongeurs et autres prédateurs.

5- L'épaisseur du film utilisé devrait être fonction de la durée d'entreposage.

6- L'entreposage des balles en sacs de 100 microns d'épaisseur exige des précautions pour réaliser une fermeture hermétique des sacs.

7- Pour assurer un bon enrobage des balles avec un film étirable, on recommande d'appliquer quatre épaisseurs de film étiré à 50%.

8- Lorsque les balles sont groupées en ligne ou en pyramide, avec ou sans conformateur, la mise en entrepôt est plus rapide et le coût de plastique est moins élevé qu'en sac malgré l'utilisation d'un film plus épais.

9- L'entreposage des balles en ligne convient pour les entreprises qui consomment environ une (1) balle par jour et l'entreposage en pyramide 2:1, pour les entreprises où on consomme de grandes quantités de fourrage.

10- De façon générale, les chantiers d'ensilage en silo-meule et les chantiers d'ensilage de balles rondes regroupées en ligne ou en pyramide 2:1 ont des capacités de récolte relativement équivalentes.

11- Les chantiers d'ensilage de balles rondes deviennent plus avantageux que les chantiers d'ensilage en silo-meule pour des terrains montagneux (pente > 3%), parce qu'ils demandent moins de puissance, et pour des champs situés loin des sites d'entreposage, lorsque les balles sont enrobées au champ.

12- Actuellement, la distribution à l'intérieur de l'étable des balles d'ensilage est plus difficile à mécaniser et à automatiser que celle de l'ensilage haché en silo-meule.

13- Il n'est généralement pas recommandé de réutiliser les films une deuxième fois pour l'ensilage, si ce n'est comme fond de pyramide, ou comme recouvrement supplémentaire au-dessus du film neuf.

3. CONSERVATION DE L'ENSILAGE DE BALLES RONDES

Pour réussir la conservation de l'ensilage de balles rondes, il faut fournir des conditions qui sont favorables à la fermentation. Les techniques utilisées doivent également permettre de conserver le fourrage avec un minimum de perte. Ce chapitre a pour objectif de montrer quels sont les facteurs influençant la réussite de la fermentation de l'ensilage de balles rondes et les pertes pendant l'entreposage.

3.1 Réussite de la fermentation

Le processus menant à la fermentation de n'importe quel ensilage comporte deux phases principales. Tant qu'il y a de l'air dans la masse ensilée, les sucres de la plante sont utilisés principalement pour la respiration. Il s'ensuit une élévation de température plus ou moins importante. L'acidification est faible pendant cette période. Cependant, lorsqu'il n'y a plus d'air dans la masse d'ensilage, on assiste à une acidification plus rapide du milieu, due au travail des bactéries anaérobies. Celles-ci utilisent les sucres disponibles pour produire de l'acide, principalement l'acide lactique.

3.1.1 Effet du fourrage long

La fermentation de l'ensilage de balles rondes (fourrage non haché) se caractérise par une acidification lente du milieu. On considère que la fermentation d'un ensilage haché fin (25 mm) prend moins de 21 jours. Par contre dans le cas d'un ensilage (non haché) de balles rondes l'acidification dure au moins 42 jours. Le pH descend plus lentement et se maintient plus élevé que dans le cas d'un fourrage haché long (100-200 mm) avec une fourragère à fléaux (figure 3.1).

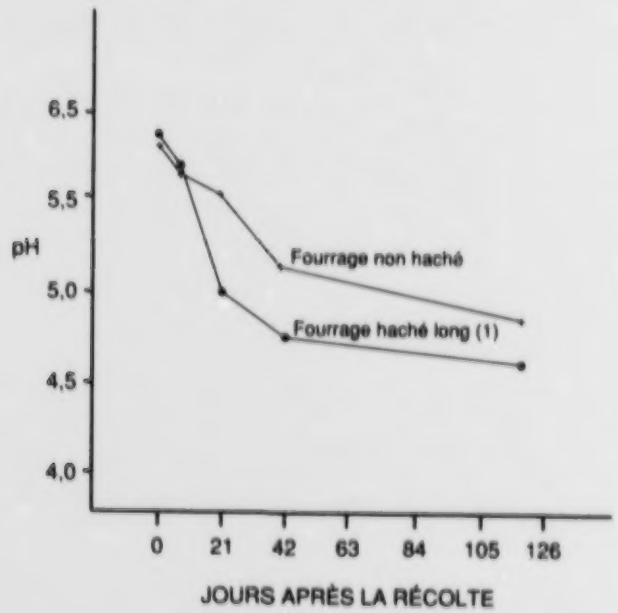


Figure 3.1. **Évolution du pH de l'ensilage de luzerne à 50% M.S. en balles rondes selon que le fourrage est non haché ou haché long avec une fourragère à fléaux.** (1)
(1) : Fourrage haché long = 100-200 mm.
Source : Service de la zootechnie de Deschambault, Évaluation de l'ensilage de balles rondes, 1987.

Cette différence semble résulter d'une libération plus lente et d'une moindre disponibilité des sucres dans l'ensilage non haché (tableau 3.1). Dans ces conditions, les bactéries responsables de l'acidification sont moins actives. Il y a en fait une moindre production d'acide lactique et d'acide acétique, mais une plus grande production d'acide butyrique, du moins dans les ensilages dosant 40% de matière sèche et moins (tableau 3.2).

Tableau 3.1. **Effet de la longueur des brins sur l'utilisation des glucides dans la fermentation de l'ensilage de luzerne à 50% M.S. en balles rondes.**

Longueur des brins	Moment de l'analyse	Teneur des glucides (%, base M.S.)			
		Sucrose	Glucose	Fructose	Total
Non haché	Initial	0,14	3,25	4,24	7,63
	Final (120 jours)	0	2,98	2,30	5,28
Haché avec une fourragère à fléaux	Initial	0,18	3,03	4,10	7,31
	Final (120 jours)	0	1,52	1,49	3,01

Source : Service de la zootechnie de Deschambault, Évaluation de l'ensilage de balles rondes, 1987.

Tableau 3.2. **Effet de la longueur des brins et du pourcentage de matière sèche sur la fermentation de l'ensilage de fléole en balles rondes.** (1)

Analyse	40% M.S.		55% M.S.	
	Non haché	Haché long	Non haché	Haché long
pH	4,58	4,22	5,18	4,42
Azote ammoniacal (%)	0,09	0,10	0,08	0,06
Acide lactique (L) (%)	1,56	2,16	0,56	1,66
Acide acétique (%)	0,56	0,97	0,30	0,52
Acide butyrique (%)	0,35	0,05	0	0

(1) Analyse après 120 jours d'entreposage.

Source : Service de la zootechnie de Deschambault, Évaluation de l'ensilage de balles rondes, 1987.

De plus, le fourrage non haché est plus favorable au développement des moisissures puisqu'il est plus difficile à compacter que le fourrage haché. Une balle ronde constituée de fourrage haché avec une fourragère à fléaux pèse en moyenne 25% de plus qu'une balle ronde constituée de fourrage non haché. Puisque l'ensilage de balles rondes est généralement constitué de fourrage long, on doit prendre certaines précautions supplémentaires pour pallier cette lacune du système et assurer quand même une bonne conservation.

3.1.2 Teneur en matière sèche lors du pressage

La teneur en matière sèche idéale pour réaliser l'ensilage de balles rondes se situe entre 40 et 50%. Plusieurs travaux de recherche ont démontré que le préfanage doit permettre d'atteindre au moins 40% de matière sèche au moment du pressage. On doit éviter d'ensiler des fourrages très humides. Les ensilages de balles rondes réalisés à des taux de matière sèche faibles (20% ou 25%)

se conservent mal (Ganneau, 1981). Il en est de même de ceux réalisés à des taux de matière sèche trop élévés (60%) (Harrison, 1985). De fait, la teneur en matière sèche permise dépend du type de fourrage ensilé. Du fourrage de graminée jeune et feuillue peut être ensilé à un pourcentage de matière sèche de 30 à 60% à condition d'être pressé à une très forte densité. Par contre un fourrage de légumineuse avancé en maturité gagne généralement à être ensilé à un pourcentage de matière sèche voisin de 40%.

En pratique, on doit considérer que l'ensilage de balles rondes est un système de récolte qui requiert généralement 2 journées consécutives de beau temps. On fauche une journée et on presse le lendemain. A ce niveau, l'ensilage de balles rondes se situe à mi-chemin entre l'ensilage en silo-meule (1 ou 2 jours) et le foin (3 ou 4 jours). Par contre, certaines plantes plus difficiles à sécher, telle l'avoine verte, peuvent demander plus de deux jours pour atteindre le niveau de matière sèche désiré.

Les résultats des essais réalisés au Service de la zootechnie de Deschambault montrent bien l'effet de la teneur en matière sèche sur la réussite de la fermentation de l'ensilage de balles rondes. La chute de pH est plus rapide dans l'ensilage humide (25% M.S.) que dans le préfané (40% M.S.) et le demi-sec (55% M.S.) (figure 3.2). Mais on assiste souvent, dans l'ensilage humide, à une remontée de pH après 42 jours d'entreposage. Cette remontée de pH est associée au fait que le pH de stabilité de l'ensilage humide (4,2) n'est pas atteint assez rapidement pour empêcher le développement des bactéries butyriques qui y trouvent des conditions idéales.

Après 120 jours d'entreposage, l'ensilage humide contient souvent des niveaux d'acide acétique supérieurs à 2,0%, un rapport N ammoniacal / N total se situant entre 15 et 20% et des niveaux d'acide butyrique supérieurs à 1,0% (tableau 3.3), spécialement lorsqu'on ensile un fourrage qui contient des légumineuses. Une teneur aussi élevée en acide butyrique est généralement considérée comme le résultat d'une mauvaise fermentation.

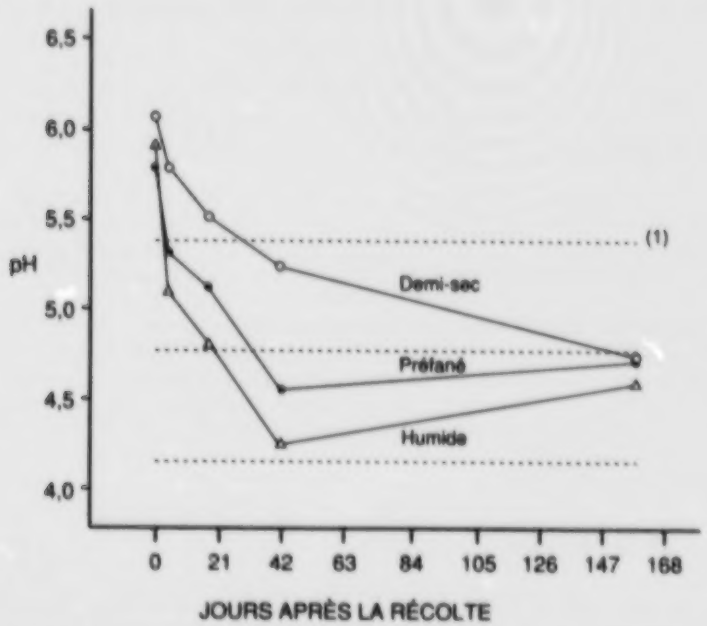


Figure 3.2. **Évolution du pH de l'ensilage humide (25% M.S.), préfané (40% M.S.) et demi-sec (55% M.S.) de luzerne et fléole en balles rondes.** (1)

(1) Les traits horizontaux représentent les pH de stabilité de l'ensilage humide (4,2), préfané (4,8) et demi-sec (5,4).

Source : Service de la zootechnie de Deschambault, Évaluation de l'ensilage de balles rondes, 1986.

Tableau 3.3. **Effet du pourcentage de matière sèche du fourrage sur la fermentation de l'ensilage de balles rondes.** (1)

Espèce(s)	Analyse	30% M.S.	40% M.S.	55% M.S.
Fléole	pH	—	4,58	5,18
	Azote ammoniacal (%)	—	0,09	0,06
	Acide lactique (L) (%)	—	1,56	0,56
	Acide acétique (%)	—	0,56	0,30
	Acide propionique (%)	—	0,02	0
	Acide butyrique (%)	—	0,35	0
	Azote ammoniacal / azote total (%)	—	5,6	3,7
Fléole et luzerne	pH	4,95	4,94	5,40
	Azote ammoniacal (%)	0,38	0,25	0,14
	Acide lactique (L) (%)	1,26	1,22	0,67
	Acide acétique (%)	2,16	1,77	0,71
	Acide propionique (%)	0,19	0,06	0,01
	Acide butyrique (%)	1,17	0,58	0,08
	Azote ammoniacal / azote total (%)	17,0	11,2	6,2

(1) Ensilage mis en sac le jour du pressage et analysé après 120 jours de conservation.

Source : Service de la zootechnie de Deschambault, Évaluation de l'ensilage de balles rondes, 1987.

Le suivi de la fermentation a permis de démontrer que c'est pendant la période comprise entre 42 et 120 jours qu'on assiste à cette détérioration de l'ensilage. Pendant cette période, le niveau d'acide acétique passe de 1 à 2% alors que le niveau d'acide butyrique passe de 0,2 à 1,2%.

L'acidification est très lente dans l'ensilage demi-sec mais le pH de stabilité de l'ensilage demi-sec (5,4) est atteint après environ 25 à 30 jours d'entreposage (figure 3.2). De plus, on n'assiste pas à une remontée de pH par la suite, du fait que les bactéries butyriques ne se développent pas dans un tel ensilage malgré la lenteur du processus de fermentation (tableau 3.3).

Ces données mettent en évidence la faible stabilité des ensilages humides de balles rondes comparativement à ceux réalisés à un pourcentage de matière sèche plus élevé. L'ensilage humide semble affecté plus que le préfané ou le demi-sec par les facteurs qui ralentissent l'acidification du milieu (fourrage non haché, délai d'ensachage). Le pH d'un tel ensilage doit descendre rapidement sinon il n'atteindra pas un niveau de stabilité suffisant pour assurer une conservation pendant une longue période d'entreposage.

3.1.3 Densité des balles

La densité des balles peut influencer la conservation. De façon générale, la réalisation d'une balle très dense améliore les chances de réussite. Cependant l'effet de la densité dépend du fourrage ensilé et de son pourcentage de matière sèche.

Un premier effet du compactage se manifeste au niveau du pH de l'ensilage. En général la densité a peu d'influence sur le pH de l'ensilage humide, moyennement dans l'ensilage préfané et beaucoup dans l'ensilage demi-sec. Dans un essai réalisé au Service de la zootechnie de Descham-

bault, la différence de pH entre un ensilage à forte densité (150-170 kg/m³) et un ensilage à faible densité (80-90 kg/m³) a été de 0,6 dans l'ensilage demi-sec et 0,2 dans l'ensilage préfané.

En plus d'influencer le niveau d'acidification, la densité des balles peut influencer également les pertes de fermentation et le développement des moisissures. Une trop faible densité se traduit parfois par un pH plus élevé, par un développement plus abondant des moisissures à l'intérieur des balles spécialement dans les couches périphériques et des pertes accrues dues à la fermentation.

L'effet du compactage dépend aussi de l'espèce ensilée. Dans les limites de compactage étudiées, les fourrages de graminées, qui ont des tiges fines répondent bien à l'augmentation de la pression appliquée, tandis que pour les fourrages de légumineuses, qui sont plus difficiles à compacter, la plus forte pression appliquée n'a pas eu d'effet marqué.

3.1.4 Moment de mise sous plastique

Les balles doivent être mises sous plastique le jour du pressage. Lorsqu'on retarde au lendemain du pressage pour les mettre sous plastique, on observe un chauffage prononcé de l'ensilage pendant quelque temps, mais une chute rapide de température par la suite (Gaillard, 1982, Kjelgaard et al., 1981). Les courbes de température de fermentation obtenues au Service de la zootechnie de Deschambault pour des balles mises en sac le jour du pressage et le lendemain du pressage apparaissent à la figure 3.3.

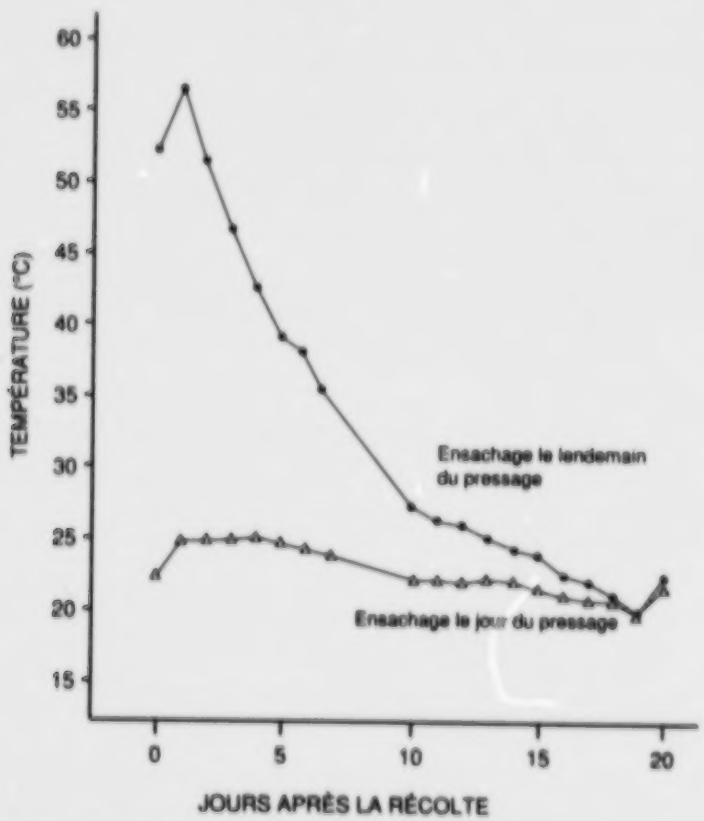


Figure 3.3. **Évolution de la température de fermentation de l'ensilage de balles rondes selon le délai d'ensachage après le pressage.**
Source : Service de la zootechnie de Deschambault, Évaluation de l'ensilage de balles rondes, 1986.

Un chauffage prolongé à une température supérieure à 40°C risque de causer le brunissement de l'ensilage et de réduire la disponibilité de la protéine (tableau 1.1). L'augmentation du pourcentage de protéine liée à la fibre due à un délai de mise sous plastique d'un (1) jour est significative dans l'ensilage de balles rondes (tableau 3.4). Cependant le niveau final de protéine liée ne dépasse pas 1%. Le chauffage n'est pas assez prolongé pour causer une forte augmentation du pourcentage de protéine liée. On sait qu'une correction doit être apportée à la teneur en protéine d'un ensilage lorsque le pourcentage de protéine liée dépasse 1.9%. Comme ce niveau n'est pas atteint même par suite d'un délai d'une (1) journée à mettre les balles rondes sous plastique, on doit conclure que l'effet est négligeable.

Tableau 3.4. **Effet du moment d'ensachage et du pourcentage de matière sèche de l'ensilage de balles rondes sur le pourcentage de protéine liée à la fibre.** [1] [2]

Moment d'ensachage	Protéine liée (%)			
	25% M.S.	40% M.S.	55% M.S.	MOYENNE (3)
JOUR DU PRESSAGE	0,70	0,75	0,67	0,71 (a)
LENDEMAIN DU PRESSAGE	0,98	0,81	0,71	0,83 (b)
MOYENNE (3)	0,84 (a)	0,78 (ab)	0,69 (b)	

(1) Protéine liée = N-A.D.F. X 6,25.

(2) Résultats de deux essais, l'un avec la fléole, l'autre avec la luzerne.

(3) Deux moyennes qui ne sont pas suivies de la même lettre sont significativement différentes ($P < 0,05$).

Source : Service de la zootechnie de Deschambault, Évaluation de l'ensilage de balles rondes, 1986.

Un délai d'une journée à mettre les balles sous plastique se traduit cependant par une acidification plus lente du milieu (figure 3.4). On observe ce phénomène aussi bien dans les ensilages

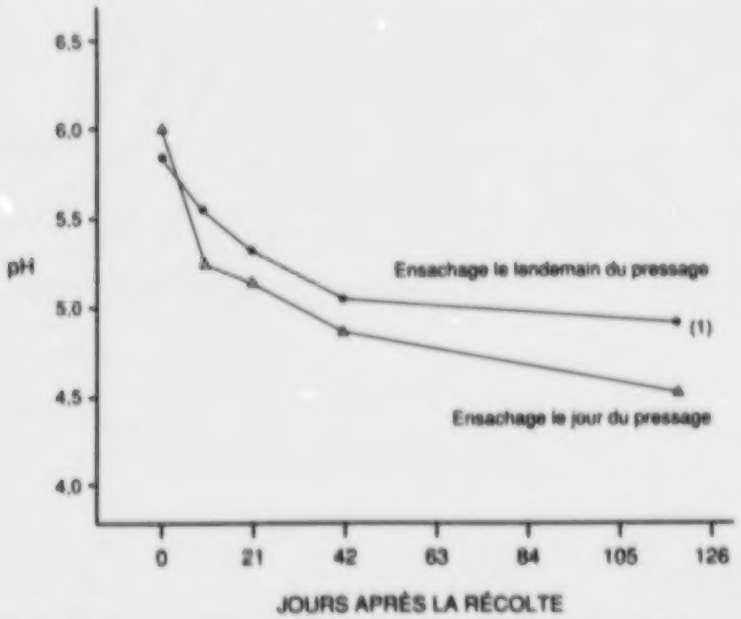


Figure 3.4. **Évolution du pH de l'ensilage de fléole en balles rondes selon le délai d'ensachage après le pressage.** [1]

(1) Moyenne de trois essais récoltés à 25%, 40% et 55% de matière sèche.

Source : Service de la zootechnie de Deschambault, Évaluation de l'ensilage de balles rondes, 1986

de graminées que dans ceux de légumineuses. De plus, il en résulte souvent une remontée du pH par la suite, spécialement dans les ensilages réalisés à moins de 40% de matière sèche, du fait que l'ensilage n'a pas atteint un niveau de stabilité suffisant. On en conclut que l'effet le plus néfaste du prolongement de la respiration, résultant d'un délai d'une journée à mettre les balles sous plastique, n'est pas la diminution de la digestibilité de la protéine, mais plutôt la diminution de la teneur en sucre, puisque le sucre est une importante source d'énergie pour les bactéries responsables de la fermentation. Les balles devraient donc être mises sous plastique le même jour qu'on les presse. Cette contrainte diminue la capacité de récolte journalière de l'ensilage de balles rondes.

3.1.5 Fermeture hermétique des sacs

Peu de temps après l'ensachage, on observe le gonflement des sacs, à cause de la production de gaz par la fermentation et l'expansion des gaz par suite de l'élévation de température. L'intensité du gonflement dépend de l'intensité de l'activité biologique et de l'importance de l'élévation de température, qui dépendent elles-mêmes de nombreux facteurs tels que le pourcentage de matière sèche du fourrage, le délai d'ensachage, la densité des balles et la grandeur des sacs. Ainsi le gonflement est plus prononcé si le fourrage est humide parce que l'activité respiratoire est plus intense et la quantité d'air par kilogramme de matière sèche plus importante. Il en est de même par suite d'un long délai entre le pressage et l'ensachage, du fait d'une plus forte élévation de température.

Le non gonflement d'un sac n'est pas nécessairement un signe qu'il n'est pas hermétique. Par contre, le gonflement est le signe d'une fermeture hermétique. Si un sac ne gonfle pas du tout le lendemain de sa fermeture, on devrait alors vérifier l'état du plastique et de l'attache. Il est encore temps, à ce moment-là d'apporter des correctifs qui éviteront la détérioration de l'ensilage, mais la fermentation sera affectée.

L'aspiration de l'air n'est pas une pratique recommandée avec les sacs de 100 microns d'épaisseur (4 millièmes de pouce). Même si cela permet de limiter la respiration, les inconvénients sont plus grands que les avantages. Une très forte aspiration risque de conduire à la perforation des sacs par les tiges du fourrage et à la détérioration ultérieure de l'ensilage. Une légère aspiration n'a pas d'effet marqué sur l'acidification du milieu, mais peut réduire le développement des moisissures dans la couche périphérique de la balle dans le cas d'ensilage réalisé dans des conditions peu favorables: fourrage trop mature, trop sec ou pressé à trop faible densité.

3.1.6 Méthode d'entreposage

Un essai réalisé au Service de la zootechnie de Deschambault n'a pas montré de différence entre la fermentation de l'ensilage demi-sec de balles rondes en sacs et celui sous film étirable. Le pH et les teneurs en acide lactique, acétique et butyrique et en azote ammoniacal restent comparables, avec l'une et l'autre méthode d'entreposage, lorsque l'herméticité à l'air est maintenue pendant toute la durée d'entreposage. **Les recherches en cours semblent cependant indiquer que l'enrobage sous film étirable permet d'ensiler un fourrage plus humide (30-40% M.S.) que les autres méthodes d'ensilage de balles rondes.** La présence de moisissures à la surface des balles enrobées est moins fréquente que dans le cas des balles en sac ou en tube. Par contre, on observe plus fréquemment la présence de petites taches de moisissures à l'intérieur des balles enrobées, lorsque le fourrage est demi-sec (50% M.S.)

3.1.7 Utilisation d'additifs de conservation

L'utilisation d'additifs de conservation constitue une pratique qui est susceptible d'améliorer la conservation de l'ensilage de balles rondes. Plusieurs essais ont été menés avec l'ammoniac en vue de valoriser des fourrages de faible qualité. Certains auteurs rapportent une réduction des pertes

de matière sèche (jus + gaz) à l'entreposage (Kjelgaard et al., 1981) et d'autres une réduction des pertes de matériel non consommable (pourritures et moisissures) (Andrieu et al., 1981). L'addition d'un produit à base d'acide formique a permis de diminuer les pertes dues à la fermentation mais n'a pas permis d'améliorer la conservation de l'ensilage humide de balles rondes (Gurnett, 1987).

Le bioxyde de soufre (SO_2) appliqué au taux de 1% de la matière sèche a eu un effet significatif dans le cas des balles d'ensilage à 40% de matière sèche mais pas dans le cas du foin humide à 60% et 70% de matière sèche (Harrison et al., 1985). Un additif anti-moisissures s'est révélé inopérant dans des balles rondes enrobées d'un film étirable (Gaillard et al., 1987). Les additifs Silo King Plus[MC] et Silage Pro[MC] n'ont pas eu d'effet sur l'acidification de l'ensilage de balles rondes et sur le développement des moisissures, dans un essai réalisé au Service de l a zootechnie de Deschambault.

Le producteur qui compte utiliser un additif de conservation dans l'ensilage de balles rondes doit considérer que dans un tel ensilage les sucres ne sont libérés que lentement puisque le fourrage n'est pas haché. Dans ces conditions, les inoculants d'ensilage, employés seuls, ont peu de chance d'améliorer la conservation. Outre l'utilisation d'un produit acidifiant, l'addition de sucre, seule ou combinée avec un inoculant, constitue probablement une alternative qui a plus de chance d'accéler l'acidification du milieu. Les problèmes de moisissures ne seront pas pour autant réglés complètement.

3.2 Pertes pendant l'entreposage

L'étude des facteurs influençant la fermentation de l'ensilage de balles rondes a permis de constater qu'un tel ensilage n'est pas à l'abri de pertes. Nous essairons de préciser quelle est la nature de ces pertes et quels sont les facteurs qui en sont responsables.

3.2.1 Nature des pertes

Les pertes quantitatives pendant l'entreposage des ensilages sont de deux types principaux:

1º les pertes de matière sèche dues au processus d'ensilage;

2º les pertes sous forme de fourrage non consommable.

Les activités biologiques associées au processus d'ensilage entraînent une perte de poids du fourrage ensilé qu'on désigne généralement sous le nom de perte de matière sèche due au processus d'ensilage. Ces pertes «invisibles» résultent du brûlage des sucres par la respiration et de leur transformation en acide lors de la fermentation. La perte de matière sèche due à la respiration entraîne une perte nette d'énergie, alors que la perte de matière sèche due à la fermentation entraîne une perte moindre d'énergie à cause du contenu énergétique des acides. Lorsque l'ensilage est réalisé dans de bonnes conditions, l'importance de la perte de matière sèche dépend principalement du pourcentage de matière sèche du fourrage ensilé.

Les pertes sous forme de fourrage non consommable peuvent être très variables (2 à 25%) dans l'ensilage de balles rondes. Elles peuvent se présenter sous forme de balles entières qui sont mal conservées et à jeter, ou de parties de balles dont le fourrage n'est pas consommable à cause de la présence de moisissures. L'ampleur de ces pertes dépend de nombreux facteurs, dont la teneur en matière sèche de l'ensilage, la méthode d'entreposage, la durée d'entreposage, la présence de rongeurs, la qualité du polyéthylène et les précautions prises lors des manipulations.

3.2.2 *Effet de la teneur en matière sèche du fourrage sur les pertes dues au processus d'ensilage*

L'importance des pertes dues au processus d'ensilage dépend du pourcentage de matière sèche du fourrage ensilé. Elles sont faibles, soit de l'ordre de 5% (2% à 9% selon les essais) dans les ensilages réalisés à 50% de matière sèche (Anderson et al., 1978, Kjelgaard et al., 1981). Par contre, dans les ensilages humides (20% M.S.) les pertes de matière sèche dues au processus d'ensilage sont souvent élevées à un niveau inacceptable (20%) et il y a souvent beaucoup d'effluents dans les sacs (Gurnett, 1987).

Les essais réalisés au Service de la zootechnie de Deschambault ont montré que les pertes de matière sèche dues au processus d'ensilage peuvent atteindre 15% dans l'ensilage de balles rondes à 25% de matière sèche. Elles se maintiennent par contre à un niveau inférieur à 10% dans l'ensilage préfané (30 à 40% de matière sèche) et sont souvent inférieures à 5% dans l'ensilage demi-sec (50% de matière sèche). Ces pertes «invisibles» se comparent à celles obtenues avec des ensilages hachés réalisés au même niveau de matière sèche.

Ainsi, dans un ensilage de balles rondes dosant entre 40 et 50% de matière sèche, tel qu'il est recommandé, on peut considérer que les pertes de matière sèche dues au processus d'ensilage sont de 6% en moyenne (entre 4% et 8%).

3.2.3 *Effet de la teneur en matière sèche du fourrage sur la perte de fourrage non consommable*

Une teneur en matière sèche inadéquate du fourrage peut être la cause de pertes accrues dues à une mauvaise fermentation et au développement des moisissures.

a- Perte de balles entières due à une mauvaise fermentation

L'ensilage de balles rondes réalisé entre 40 et 50% de matière sèche peut se conserver pendant une période d'entreposage de 8 mois sans trop de détérioration. On recommande de ne pas réaliser d'ensilage humide, à 25% de matière sèche, en balles rondes. De tels ensilages risquent fortement de se détériorer lorsqu'ils sont entreposés pour une durée de plus de 3 à 4 mois. Lorsque le pH de stabilité n'est pas atteint assez rapidement, la fermentation butyrique entraîne par la suite une détérioration progressive de l'ensilage. Il en est de même lorsque les conditions anaérobies ne sont pas maintenues pendant toute la durée d'entreposage. Au Service de la zootechnie de Deschambault, on a observé des pertes de fourrage non consommable de l'ordre de 30% dans le cas d'ensilages humides de balles rondes entreposées pendant 10 à 12 mois.

b- Perte de parties de balles due à la présence localisée de moisissures et levures

Il y a fréquemment de la moisissure et/ou levure à la surface des balles rondes conservées dans des sacs. En effet, les phénomènes de condensation amènent souvent l'accumulation d'eau dans certaines parties du sac (coins, replis). Ce surplus d'eau qui ne peut être éliminé est favorable au développement des moisissures et des levures. Les moisissures se développent uniquement en présence d'air tandis que les levures peuvent aussi se développer en l'absence d'air.

La moisissure en surface est plus fréquente dans le cas des balles qui sont les plus humides (Kjelgaard et al.,1981). Dans les ensilages mi-fanés ou demi-secs la moisissure de surface se développe presque uniquement sur les faces planes tandis que dans les ensilages humides on en rencontre aussi fréquemment sur la périphérie cylindrique des balles. La surface de la balle est généralement très sèche du côté qui est exposé au soleil, alors que la surface non exposée au soleil est plus humide, et on y note parfois la présence de moisissure et/ou levure. La présence de

moisissures à l'intérieur des balles rondes s'accentue à des teneurs élevées en matière sèche (Gurnett, 1987) et dépend beaucoup des conditions de réalisation de l'ensilage. On observe occasionellement des balles dont le coeur est atteint par la moisissure, probablement à cause d'une trop faible densité de cette partie de la balle.

L'analyse d'échantillons prélevés dans des balles mal conservées a révélé la présence de levures ou de types de moisissures ne produisant pas de toxine. On ne devrait cependant pas servir aux animaux des ensilages montrant des signes évidents de mauvaise conservation.

3.2.4 Effet de la durée d'entreposage sur les pertes de fourrage non consommable (cas des sacs)

L'ensilage de balles rondes se détériore plus durant l'entreposage que l'ensilage haché (Kjelgaard, 1981). Cela vient de deux causes principales:

1- La chute du pH est plus lente et souvent moins prononcée que dans l'ensilage haché, de sorte que le pH de stabilité n'est pas toujours atteint, principalement dans les ensilages humides.

2- Il est difficile de maintenir les conditions anaérobies pendant toute la période d'entreposage, de sorte qu'on fait souvent face à des problèmes de moisissures.

La durée de conservation dépend de la résistance des sacs. Les sacs de 100 microns d'épaisseur sont parfois perforés en hiver à cause de l'effet combiné de la glace et du vent. La balle peut alors se conserver jusqu'au printemps mais se détériorera à la venue des températures chaudes.

L'importance des pertes dépend donc de la durée d'entreposage. Les pertes sont faibles tant que les sacs ne sont pas abîmés mais peuvent être très élevées après une année d'entreposage. Par exemple, dans un essai réalisé au Service de la zootechnie de Deschambault, avec un ensilage à 40% de matière sèche et des sacs de 100 microns d'épaisseur, le pourcentage de balles jetées a été inférieur à 5% dans le cas des sacs ouverts avant l'hiver mais supérieur à 15% pour les sacs ouverts après la saison hivernale.

De façon générale, on peut considérer que pour de l'ensilage dont la teneur en matière sèche est de 40 à 50%, le pourcentage de pertes dues à des balles entières ou à des parties de balles mal conservées et à jeter, croît de la façon suivante avec la durée d'entreposage:

5% après 5 mois d'entreposage;

10% après 10 mois;

15% après 15 mois.

En présence excessive de vermine ces pertes peuvent facilement doubler et même tripler.

Ainsi, pour une durée moyenne d'entreposage de 8 mois, les pertes de fourrage non consommable seraient normalement de 8% et pourraient facilement passer à 16% si on n'a pas un bon contrôle de la vermine.

3.2.5 Effet de la méthode d'entreposage sur les pertes de fourrage non consommable

a- Balles en sac

Dans les essais réalisés au Service de la zootechnie de Deschambault, dont les résultats ont été rapportés précédemment, les balles rondes étaient entreposées en sac individuel de 100 microns d'épaisseur, sur une surface recouverte de sable et avec un bon contrôle de la vermine. Les balles étaient espacées les unes des autres, la fermeture hermétique de chaque sac était vérifiée 1 ou 2 jours

après l'ensachage et des corrections étaient apportées lorsque c'était nécessaire. Dans ces conditions, les pertes reliées à des problèmes d'entreposage sont faibles. La principale cause de perte est alors la perforation du sac pendant la période d'entreposage.

L'ensilage de balles rondes réalisé en sac est très susceptible à la présence d'air. Aussitôt qu'un sac est perforé, l'air peut s'y introduire et circuler librement entre l'ensilage et le sac. Ainsi, au lieu d'avoir une perte très localisée, c'est toute la balle qui est exposée à se gâter. Les pertes seront plus élevées si la perforation est faite avant que l'ensilage ait fini de fermenter, s'il s'écoule une longue période de temps avant de servir l'ensilage aux animaux ou si la température extérieure est élevée.

Des précautions additionnelles pourraient donc permettre de réduire encore les pertes d'entreposage. Les balles que l'on prévoit utiliser seulement au printemps devraient être mieux protégées que celles qui sont utilisées au début de l'hiver. L'addition d'un filet de maintien, pour recouvrir un groupe de balles en sac, permet d'assurer une meilleure protection aux ensilages.

Les sacs de plastique de 100 microns d'épaisseur constituaient la méthode d'entreposage la plus utilisée jusqu'à tout récemment. Or ce n'est pas la méthode d'entreposage idéale pour l'ensilage de balles rondes. Il est possible d'améliorer la conservation de l'ensilage de balles rondes, surtout lorsque la période d'entreposage est relativement longue, par l'utilisation d'autres méthodes d'entreposage que les sacs de 100 microns d'épaisseur. Les caractéristiques techniques des diverses méthodes d'entreposage actuellement proposées aux producteurs ont été décrites en détail à la section 2.4.3 alors que la comparaison économique de ces diverses méthodes d'entreposage sera faite au chapitre 5.

b- Balles groupées, en ligne ou en pyramide

Lorsque les balles sont groupées en ligne ou en pyramide, les risques de perforation sont plus faibles qu'en sac, puisqu'on utilise un plastique plus épais, généralement 150 microns. Par contre, un entreposage non hermétique, causé par un manque de précaution lors de la mise en entrepôt, un bris de plastique ou un trou venant de la vermine, est généralement la cause d'une perte importante. Tout comme dans le cas de l'ensilage en sac, le plastique n'adhère pas à la masse d'ensilage de partout, malgré les précautions prises pour y arriver. Ainsi, c'est plusieurs balles sinon toute la masse d'ensilage qui est exposée à se gâter s'il y a une infiltration d'air par suite d'une perforation. Finalement, en saison chaude, les dernières balles utilisées sont exposées à chauffer, s'il y a une infiltration d'air dans la masse d'ensilage lors de la reprise. Les essais réalisés jusqu'à ce jour semblent indiquer que l'entreposage des balles en groupe, dans un tube ou sous une feuille de plastique, entraîne des pertes sous forme de fourrage non consommable qui sont comparables à celles observées avec les sacs individuels.

c- Film étirable

L'enrobage des balles avec un film étirable, ne permet pas une libre circulation de l'air entre l'ensilage et le plastique. Dans ces conditions, la présence de moisissures à la surface des balles est moins fréquente qu'avec les autres méthodes d'entreposage. De plus la perte est très localisée, par suite d'une perforation. Cette méthode d'entreposage n'est toutefois pas complètement à l'abri des pertes. A l'occasion, on a signalé des problèmes d'infiltration d'eau associés à un manque d'étanchéité des couches successives de plastique. Des problèmes de détérioration de la couche supérieure de plastique ont aussi été rencontrés mais la qualité de l'ensilage n'a pas été affectée. Ces problèmes ne sont toutefois pas courants. L'enrobage des balles avec un film étirable permet généralement de réduire les pertes de fourrage non consommable de façon importante par rapport aux autres méthodes d'entreposage des ensilages de balles rondes. De fait, le pourcentage de balles détériorées est à peu près nul lorsque l'enrobage est fait adéquatement. Les pertes de fourrage non consommable sont de l'ordre de 4%, si on considère les risques mentionnés précédemment.

3.2.6 Comparaison avec l'ensilage haché

Le tableau 3.5 permet de comparer les pertes d'entreposage de différents systèmes d'ensilage. On y rapporte aussi les pertes au champ pour chacun de ces systèmes.

Les pertes pour l'ensilage de balles rondes entreposées en sacs ou en groupant les balles en ligne ou en pyramide, sont surtout des pertes de fourrage non consommable, alors qu'en silo-tour et en silo-meule, les pertes d'entreposage sont surtout dues à la fermentation (pertes «invisibles»).

La conservation des ensilages de balles rondes en les enrobant avec un film étirable permet de réduire les pertes sous forme de fourrage non consommable de façon importante par rapport a l'entreposage en sac. Les pertes en entrepôt deviennent alors égales à celles observées en silo-tour.

Il convient de rappeler que deux systèmes qui ont des pertes de matière sèche égales n'ont pas forcément des pertes d'énergie égales. En effet, contrairement aux autres types de pertes de matière sèche, celles qui sont dues à la fermentation de l'ensilage n'entraînent généralement pas une perte nette d'énergie.

Tableau 3.5. **Pertes au champ et en entrepôt pour divers systèmes d'ensilage.**

Système		Perte au champ (1)	Perte en entrepôt		
			Ferm. resp.	Four. non consommable	Total
Silo-meule	25% M.S.	3%	13%	2%	15%
	30% M.S.	4%	10%	2%	12%
Silo-tour	35% M.S.	7%	8%	2%	10 %
Silo hermétique	50% M.S.	10%	4%	0%	4%
Ensilage de balles rondes 45% M.S.	Sac	11%	6%	8-16% (2)	14-22%
	Ligne et pyramide	11%	6%	8-16% (2)	14-22%
	Film étirable	11%	6%	4%	10%

(1) Perte sans pluie.

(2) Perte avec un bon contrôle de la vermine (1er nombre) et suite à des problèmes de vermine (2e nombre).

Sources : Comité de références économiques en agriculture du Québec. 1989.
Service de la zootechnie de Deschambault, Évaluation de l'ensilage de balles rondes (1986, 1987, 1988).

3.3 Perspective

Les travaux réalisés au Service de la zootechnie de Deschambault ont montré que l'ensilage de balles rondes est plus difficile à réussir qu'un ensilage haché. Les résultats sont plus variables. Des conditions de réalisation qui ne compromettaient pas la réussite d'un ensilage haché peuvent la compromettre dans le cas d'un ensilage de balles rondes. Ce peut être le cas si on ensile un fourrage trop mature, un fourrage qui a traîné longtemps au champ ou un fourrage à un pourcentage de matière sèche trop faible, ou si le délai d'ensachage est trop long. Les conditions d'entreposage peuvent également affecter la conservation d'un tel ensilage.

Les résultats variables obtenus dans la conservation de l'ensilage de balles rondes peuvent être expliqués par les facteurs suivants:

1- L'acidification du milieu n'est pas toujours suffisante pour assurer la stabilité de l'ensilage, selon la teneur en matière sèche de l'ensilage.

2- La température de fermentation dépend du délai de mise sous plastique

3- La vulnérabilité à une infiltration d'air dépend de la méthode d'entreposage

4- Le développement des moisissures et des levures dépend de la teneur en matière sèche du fourrage, de la densité de pressage et de la méthode d'entreposage

5- L'importance des pertes dépend de la méthode et de la durée d'entreposage

L'ensilage de balles rondes n'est pas le système idéal sur le plan de la fermentation, du fait que le fourrage est ensilé à l'état long. Des recherches sont en cours pour déterminer la valeur des pratiques suivantes pour améliorer la conservation de l'ensilage de balles rondes:

1- la réalisation d'un meilleur conditionnement du fourrage par l'utilisation de machines à fléaux plus efficaces que les conditionneurs à rouleaux. Il reste à déterminer si le gain réalisé au niveau de la conservation compensera les pertes accrues occasionnées par ces machines. Le hachage du fourrage en équipant les presses à balles rondes de systèmes de ramassage à fléaux est une autre alternative, mais un tel système n'existe pas sur le marché.

2- le recours à des additifs de conservation pour accélérer la fermentation et empêcher le développement des moisissures. L'utilisation de ces produits pourrait être envisagée lorsqu'on s'éloigne des conditions idéales d'ensilage. Encore là, la recherche devra préciser quels sont les produits les plus valables dans l'ensilage de balles rondes.

L'ensilage de balles rondes est un système dans lequel le risque de perte en entrepôt sous forme de fourrage non consommable est plus élevé que dans les autres systèmes d'ensilage. En ensilant du fourrage non haché, on se place dans des conditions qui sont à la limite de faisabilité de l'ensilage. Pour limiter les pertes en entrepôt à un niveau acceptable, et réussir dans au moins 95% des cas, il faut prendre beaucoup de précautions dans cette méthode d'ensilage.

RÉSUMÉ

1- Puisque l'ensilage de balles rondes est constitué de fourrage non haché, les sucres de la plante sont peu disponibles pour les bactéries responsables de la fermentation. Il en résulte une acidification lente du fourrage, de sorte que le pH de stabilité n'est pas toujours atteint, spécialement lorsque l'ensilage est réalisé relativement humide.

2- Le pourcentage de matière sèche idéal pour la réalisation de l'ensilage de balles rondes se situe entre 40 et 50%. Puisque la fermentation est relativement lente (au moins 42 jours), un ensilage réalisé humide (25% M.S.) risque de présenter des taux élevés d'acide butyrique et d'azote ammoniacal, spécialement s'il contient des légumineuses.

3- Les balles doivent être mises sous plastique le jour même du pressage afin d'éviter tout chauffage excessif et pour permettre à la fermentation d'acidifier le milieu rapidement.

4- Le gonflement des sacs observé peu de temps après la mise en entrepôt est un signe d'une fermeture hermétique. Même si le non gonflement n'est pas nécessairement un signe d'une fermeture non hermétique, les sacs qui ne gonflent pas du tout devraient faire l'objet d'une vérification.

5- Des moisissures et levures se développent parfois à la surface ou à l'intérieur des balles. Leur développement en surface est fréquent surtout dans les ensilages humides et lorsque le plastique n'adhère pas à la balle de partout (Ex:sac). Par contre, leur développement à l'intérieur des balles semble plus fréquent dans les ensilages demi-secs et lorsque la densité de pressage est faible.

6- Lorsque l'ensilage de balles rondes a une teneur en matière sèche de 40% à 50%, les pertes de matière sèche dues au processus d'ensilage sont relativement faibles (6%). Par contre, les pertes sous forme de fourrage non consommable sont très variables et généralement plus élevées que dans le cas des ensilages hachés.

7- La méthode d'entreposage a peu d'influence sur la fermentation de l'ensilage de balles rondes, pour autant que l'herméticité à l'air est maintenue pendant toute la durée d'entreposage. Par contre, selon la méthode d'entreposage utilisé, l'ensilage sera plus ou moins vulnérable à une infiltration d'air et au développement des moisissures, de sorte qu'en pratique le niveau de perte dépend de la méthode d'entreposage.

8- Lorsque les balles rondes sont entreposées en sacs de 100 microns d'épaisseur, l'hermeticité à l'air n'est pas toujours maintenue pendant toute la durée d'entreposage. Puisque le plastique n'adhère pas à la balle de partout, la simple action du vent et de la glace peut provoquer des fissures dans le plastique. Ainsi les risques de perte augmentent de façon importante avec la durée d'entreposage.

9- Lorsque les balles sont entreposées en groupe (ligne ou pyramide), l'utilisation de plastique plus épais que dans le cas des sacs diminue le risque de perforation, mais un seul trou peut entraîner une perte importante. Il y a aussi un risque de chauffage à la reprise, pendant les périodes chaudes. Les pertes restent donc comparables à celles observées dans le cas des sacs.

10- L'enrobage des balles avec un film étirable permet de réduire les pertes de façon importante. Puisque l'air ne peut pas circuler librement entre la balle et le sac, une perforation n'entraîne qu'une perte localisée.

11- Des recherches en cours visent à préciser la valeur de la technique de conditionnement avec des fléaux en vue d'obtenir un fourrage plus brisé, et de l'addition de produits sucrés, seuls ou combinés avec un inoculant, pour améliorer la fermentation de l'ensilage de balles rondes.

4. ASPECTS ZOOTECHNIQUES

Tout agriculteur qui envisage la possibilité d'adopter l'ensilage de balles rondes doit évaluer de quelle façon ce système s'intègre dans sa régie d'élevage et d'alimentation. Il doit également considérer la qualité de conservation de cet ensilage et les performances des animaux ainsi alimentés.

Afin d'apporter quelque éclairement à ce sujet, nous présenterons les résultats de quelques essais à la ferme et de quelques recherches à caractère zootechnique réalisés sur les ensilages de balles rondes. Il convient de noter que les données qu'on extrait des rapports de recherches ou d'essais à la ferme doivent toujours être interprétées en considérant le contexte dans lequel elles ont été réalisées. Avant de présenter ces données, considérons les aspects plus pratiques de la régie du troupeau.

4.1 Régie d'élevage et d'alimentation

L'alimentation d'un troupeau avec de l'ensilage de balles rondes comporte certaines exigences et ne convient pas à toutes les exploitations. L'adaptation de l'ensilage de balles rondes à une exploitation donnée est déterminée par la dimension du troupeau, le type de stabulation, la forme de présentation des rations et les besoins des animaux.

4.1.1 Dimension du troupeau

L'ensilage de balles rondes convient aux troupeaux de petite à moyenne dimension. Il nécessite beaucoup d'opérations lors de la reprise et de la distribution qui sont faites le plus souvent manuellement. Cependant des équipements permettant la mécanisation de la distribution sont apparus sur le marché. On observe en particulier la popularité des dérouleuses de balles rondes.

On doit également tenir compte de la dimension du troupeau lors du choix de la méthode d'entreposage, afin d'assurer un prélèvement minimal en été et en hiver, et ainsi d'éviter la détérioration de l'ensilage.

4.1.2 Type de stabulation

Il est plus facile d'utiliser l'ensilage de balles rondes pour des animaux en stabulation libre qu'en stabulation entravée. Ainsi ce type d'alimentation se prête bien à l'alimentation des vaches de boucherie, taures et vaches taries, mais est peu adapté aux animaux laitiers attachés queue à queue.

4.1.3 Forme de présentation des rations et besoins des animaux

L'ensilage de balles rondes est moins bien adapté à l'alimentation en ration totale mélangée (R.T.M.). Il faut alors utiliser un déchiqueteur de balles, ce qui implique un investissement de 12 000$ et des manipulations supplémentaires.

L'alimentation avec de grosses balles rondes ensilées rend difficile la mise en application de différents concepts admis en régie d'alimentation, tels le groupage des animaux, la fréquence et le nombre de repas de fourrage, la distribution de fourrage de qualité différente à diverses catégories d'animaux.

La qualité de fourrage requise par chaque catégorie d'animaux est différente. Les vaches en pic de lactation et les bouvillons en croissance doivent recevoir un fourrage de très bonne qualité alors que les vaches taries et les animaux à l'entretien se satisfont d'un fourrage de qualité moyenne. Ainsi l'éleveur doit être très attentif pour fournir à chaque catégorie d'animaux les balles qui lui conviennent.

4.1.4 Classification et analyse des fourrages

En vue de la planification de l'alimentation, il est essentiel de bien classifier les fourrages récoltés et de les faire analyser. Avec l'ensilage de balles rondes, il est relativement facile de séparer les divers lots de fourrage selon l'espèce et le stade de récolte. On peut facilement identifier chaque lot en utilisant des aérosols de peinture sous pression.

Pour fins d'analyse chimique, des échantillons doivent être prélevés dans un nombre suffisant de balles pour être représentatifs de chaque espèce et de chaque stade de coupe. Il est très utile de prélever des échantillons lors de la récolte afin de connaître la valeur alimentaire des fourrages ensilés. Des échantillons prélevés après la fermentation ou lors de la reprise pourraient permettre d'apporter des précisions sur la qualité de l'ensilage.

4.2 Qualité de conservation de l'ensilage de balles rondes

4.2.1 Observations chez les producteurs

On observe une grande variation dans la qualité de conservation des ensilages de balles rondes réalisés par les producteurs, comme le montre une enquête du ministère de l'Agriculture d'Angleterre (A.D.A.S., 1987) (tableau 4.1). Ce phénomène est relié principalement aux conditions variables de fabrication des ensilages par les producteurs (stade de coupe, pourcentage de matière sèche...).

Tableau 4.1. **Enquête sur le qualité des ensilages des balles rondes.**

Valeurs	Matière sèche %	pH	$N.NH_3$ % N total	Protéine brute %	Valeur de digestibilité	Énergie métabolisable (M. Joule)
Moyenne	40	5,4	8	14	64	10,3
Minimale	15	4	2	6	58	9
Maximale	70	6	30	20	72	11,5

Source: Agricultural Development Advisory Service, 1987.

4.2.2 Réussite de la fermentation de l'ensilage

Les critères utilisés pour évaluer la qualité de conservation des ensilages sont le pH de stabilité (figure 1.1) et le barème d'appréciation des ensilages (tableau 1.2). L'analyse, à l'aide de ces critères, des résultats expérimentaux apparaissant aux tableaux 3.2, 3.3 et 4.2, de même que ceux de Andrieu et al. (1981), Anderson et al. (1985 et 1986) et Gurnett (1987), permet de conclure que la qualité de conservation des ensilages de balles rondes en sacs ou en pyramides, varie de bonne à médiocre selon le pourcentage de matière sèche du fourrage et le type de plantes ensilées.

Dans les ensilages humides, le pH de stabilité n'est pas toujours atteint. Ces ensilages sont de qualité excellente en ce qui a trait à la teneur en acide acétique, mais leur teneur en acide butyrique les classe de médiocres à très mauvais, et ce phénomène est accentué par la présence de légumineuses. De plus leur teneur en azote ammoniacal tend à les faire classer médiocres.

Par contre, dans les ensilages demi-secs, le pH se maintient généralement près de la limite de stabilité. De plus ces ensilages sont de qualité excellente en ce qui a trait à la teneur en acide acétique et en acide butyrique, et de bonne à satisfaisante pour la teneur en azote ammoniacal.

Les analyses permettant d'évaluer la qualité de fermentation des ensilages (ammoniac, acide butyrique, etc...) sont essentielles pour juger de leur valeur alimentaire. Des ensilages constitués de fourrages jeunes (20% P.B., 32% A.D.F., etc..), mais effectués en conditions climatiques difficiles (3 jours au champ, temps brumeux...), présentent des taux anormalement élevés en ammoniac et en acide butyrique (Gurnett, 1987).

Tableau 4.2. **Effets de la teneur en matière sèche sur l'ensilage de balles rondes en sacs ou en pyramide.**

Critères	Sacs individuels					Pyramide
Matière sèche (%)	<20	20-30	30-40	40-50	>50	23,7
Nombre de balles	13	7	17	10	4	41
P.B. (%)	16,4	18,0	16,7	16,8	17,1	14,0
A.D.F. (%)	35,0	33,7	38,0	35,1	34,8	35,4
Digestibilité (%)	63	64	63	63	63	63
Energie métabolisable (M. Joules)	10,0	10,2	10,0	10,0	10,0	10,0
pH	4,1	4,5	4,6	5,0	5,1	—
N. NH_3 (% N total)	15	13	14	11	11	—
Pertes de M.S. en silos (%)	14,9	16,0	14,9	10,1	9,1	19,6

Adapté de: Gurnett, 1987.

4.2.3 Valeur protéique de l'ensilage

Dans la majorité des rapports de recherche, la valeur protéique des ensilages est donnée seulement en terme de matière azotée totale et exprimée sous forme de protéine brute (N X 6,25). La détermination de la teneur en azote non protéique et en protéine vraie de ces ensilages permettrait de préciser leur vraie valeur. Ainsi Anderson et al. (1985) (tableau 4.3) ont comparé un foin et deux (2) types d'ensilage avec des pourcentages (%) de protéine brute similaires, et ils ont observé des différences significatives pour la protéine vraie et l'azote non protéique selon le pourcentage de matière sèche. Par contre, pour la protéine liée (N-A.D.F. x 6,25), ils n'obtiennent pas de différence significative entre le foin et les ensilages, malgré des taux de protéine liée de près de 1,9%. Au Service de la zootechnie de Deschambault, on observe par ailleurs des différences significatives dans le niveau de protéine liée selon le pourcentage de matière sèche de l'ensilage et le moment d'ensachage. Par contre, les pourcentages de protéine liée restent toujours bien en deçà de la limite permise de 1,9% (tableau 3.4).

Tableau 4.3. **Effets du pourcentage de matière sèche sur le fractionnement de l'azote dans les balles rondes sèches et ensilées.** (1)

Critère	Pourcentage de matière sèche		
	40	65	80
Protéine brute (%)	16,82	17,53	17,24
Protéine vraie (%)	11,73 (b)	13,33 (a)	15,37
Azote non protéique (%)	5,09 (a)	4,21 (b)	1,89
Protéine liée (%)	1,86	1,77	1,86

(1) : Résultats exprimés sur base de matière sèche

(a) (b) : Différence significative ($P < 0,05$)

Source : Anderson et al., 1985.

4.3 Aspects nutritionnels

4.3.1 Effets de la protéolyse

Peu de recherches à caractère zootechnique mentionnent la qualité de conservation de l'ensilage servi aux animaux. Lorsqu'elle est citée, les critères de qualité utilisés sont l'azote soluble et l'azote ammoniacal ($N.NH_3$). Les Européens surtout insistent sur ces données et utilisent même des chartes de qualité de conservation d'ensilage.

En plus de réduire la qualité de conservation de l'ensilage, la protéolyse peut affecter les performances animales soit directement en réduisant la qualité de la protéine, soit indirectement en affectant la consommation volontaire. Il faut cependant distinguer la protéolyse due au processus naturel enzymatique des plantes (section 1.1.3) de celle issue des activités bactériennes clostridiennes (espèces protéolytiques) (section 1.2.4).

La première est peu contrôlable (génétique des plantes...) mais la seconde peut être inhibée en favorisant une chute de pH rapide et/ou une augmentation du pourcentage de matière sèche. Ainsi, les ensilages humides seront beaucoup plus susceptibles de subir une protéolyse bactérienne que les ensilages préfanés ou demi-secs.

Les effets zootechniques de la protéolyse sont reliés à l'utilisation et au métabolisme de l'azote, particulièrement au niveau de la dégradabilité ruminale, elle-même dépendante des sources énergétiques (hydrates de carbone) (Chapula, 1985, Vérité et Peyraud, 1988).

La dégradation accrue de la protéine provoque une diminution de l'ingestion volontaire, entraînant une réduction de la production. Ainsi, de récentes recherches ont montré que l'inhibition de la protéolyse d'ensilage humide de luzerne entraîne une augmentation de la consommation volontaire et du taux de gain chez les agneaux (Charmley et Veira, 1988).

La protéolyse clostridienne entraîne un processus de putréfaction qui provoque les refus alimentaires et diminue de façon draconienne les performances animales. Par contre on peut pallier l'inconvénient de la protéolyse naturelle par l'apport de sources protéiques peu dégradables dans les rations animales.

Les critères utilisés pour évaluer la qualité de conservation des ensilages et leurs effets possibles sur la consommation volontaire (azote ammoniacal, azote soluble, azote protéique....) demandent des analyses qui sont à l'heure actuelle faites seulement sur demande spéciale dans nos laboratoires et on doit se référer à des chartes de références européennes (section 1.1.3, tableau 1.2) à défaut de détenir des chartes nord-américaines plus adaptées à nos types de plantes.

4.3.2 Effet de la longueur des brins et du pH

Les ensilages en balles rondes sont constitués de fourrage à brins longs (non haché) et ont un pH plus élevé que les ensilages hachés. Ces deux caractéristiques ont une influence positive pour le maintien de l'équilibre acido-basique du rumen. Cependant l'influence du pH de l'ensilage est minime par rapport à celle de la longueur des brins. Le taux de mastication et la production de salive sont les principaux régulateurs du pH du rumen.

Un fourrage à brins longs présente un avantage pour le maintien du pH ruminal. Cependant la consommation volontaire est généralement plus faible avec un fourrage à brins longs qu'avec un fourrage haché. L'influence de l'ingestion de matière sèche sur les performances animales sera discutée plus en détails dans la section suivante.

4.4 Performances des animaux

4.4.1 Observations chez les producteurs

Quelques essais zootechniques à la ferme ont été réalisés sur l'ensilage de balles rondes. La plupart d'entre eux comparent les performances des animaux alimentés à l'ensilage de balles rondes à celles obtenues avec le système au foin sec utilisé les années antérieures.

Par suite de l'utilisation de ce système fourrager à la place du foin sec pendant deux années dans une ferme de Dupuy, les agronomes d'Agriculture Canada (1988) ont observé une amélioration de production laitière de 1 431 kg/vache/année, une augmentation d'ingestion de matière sèche de 567 kg/vache/année et une réduction du coût de production de 1,40$ l'hectolitre de lait soit une économie de 2 638$/année pour un troupeau de 26 vaches.

Une étude menée dans la Beauce (Agriculture Canada, 1988) mentionne des quantités de refus minimes de la part des animaux laitiers si l'on donne au moins 2 repas par jour. On mentionne également que la ration de concentrés est passée de 1 kg pour 3 kg de lait avec le foin sec, à 1 kg pour 4 kg de lait avec l'ensilage de balles rondes, mais que la production laitière moyenne n'a pas changé.

Dans Mégantic-Compton, on a constaté une amélioration très nette de la qualité des fourrages en passant du foin sec à l'ensilage de balles rondes (42 à 32% d'A.D.F.), une amélioration du taux de gras (2,34 à 4,18%), une augmention de la consommation de fourrages (10,5 à 15,1 kg de matière sèche) et une réduction de la quantité de concentré (de 16 à 11 kg) (Agriculture Canada, 1988).

L'introduction de l'ensilage de balles rondes à la place du foin sec permet des augmentations de production ou une diminution des coûts de concentrés non négligeables, grâce à une amélioration de la qualité des fourrages. Cependant on doit avoir à l'esprit que les améliorations observées résultent non seulement de l'adoption d'un nouveau système de récolte et conservation des fourrages mais aussi de changements de régie qui ont pu survenir par suite du suivi d'un professionnel pendant la période de l'essai.

Plus rares sont les essais à la ferme qui ont comparé l'ensilage de balles rondes avec d'autres systèmes d'ensilage. Les résultats d'un essai réalisé en Abitibi (tableau 4.4) laissent voir que des bouvillons en croissance alimentés aux balles rondes ont eu un gain journalier inférieur à ceux alimentés au silo-meule (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 1986).

Tableau 4.4. **Comparaison du silo-meule à brin court avec l'ensilage de balles rondes chez des bouvillons en croissance.**

Critères	Ferme 1	Ferme 2	Ferme 3
Nombre de têtes	11	28	15
Kg d'orge par jour	3,7	3	4
Gain journalier (kg)	0,98	1,01	0,91
Période	29 sept. 14 mars	23 sept. 23 mars	19 déc. 22 avril

Fermes 1 & 2 : Étable froide - silo-meule
Ferme 3 : Étable chaude - ensilage de balles rondes en sacs
Ferme 1 & 2 & 3: Qualité fourragère comparable
Source : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 1986.

Les performances des animaux alimentés à l'ensilage de balles rondes sont fort variables. On observe des améliorations de performance par suite de l'introduction de l'ensilage de balles rondes à la place du foin sec, ce qui ne semble pas le cas lorsqu'on le compare à un autre système d'ensilage. Les essais à la ferme, malgré leur faible valeur scientifique, démontrent les avantages et les

inconvénients de l'ensilage de balles rondes dans un contexte réel de fonctionnement d'entreprise. Nous présenterons dans les sections qui suivent des résultats de recherches zootechniques qui permettront d'apporter des précisions concernant les performances des animaux alimentés à l'ensilage de balles rondes.

4.4.2 Effet du pourcentage de matière sèche

On dispose de quelques données concernant la digestibilité des foins et des ensilages de balles rondes. Anderson et al. (1985) (tableau 4.5) mentionnent que malgré une ingestion de matière sèche favorisant le foin par rapport aux ensilages de balles rondes, la digestibilité était supérieure pour les ensilages de balles rondes. Le même phénomène, moindre ingestion et meilleure digestibilité, s'observe pour les ensilages de balles rondes à 40% de matière sèche par rapport à celles à 65%. Anderson et al. (1984 et 1985) observent également une diminution significative de la consommation d'ensilage de balles rondes lorsque le pourcentage de matière sèche passe de 65% à 40%. Ils ne notent par contre aucune différence importante dans les variations de poids des animaux.

Puisque l'ingestion diminue alors que la digestibilité augmente, lorsqu'on récolte sous forme d'ensilage de balles rondes plutôt que sous forme de foin, les avantages de l'ensilage de balles rondes par rapport au foin, en ce qui concerne les performances animales, sont plus des avantages indirects que des avantages directs.

Lorsque le foin et l'ensilage à brins longs sont récoltés tous les deux au même stade et dans de bonnes conditions, on ne peut pas s'attendre à des différences importantes dans les performances animales. Les meilleures consommations et performances observées par les producteurs qui sont passés du foin à l'ensilage de balles rondes résulteraient donc principalement du fait qu'en pratique l'ensilage permet de récolter un fourrage de meilleure qualité (coupe plus hâtive, moins de fourrage déprécié par la pluie).

Tableau 4.5. **Effets du pourcentage de matière sèche des balles rondes sèches et ensilées sur l'ingestion volontaire et les coefficients de digestibilité.** [1]

Critères	Pourcentage de matière sèche		
	40	65	80 [2]
		Moutons	
INGESTION VOLONTAIRE (g M.S./jour)	1137,5	1189,2	1316,3
COEFFICIENT DE DIGESTION (%)			
Matière sèche	70,81 (a)	64,37 (b)	57,9
Fibre détergent acide	64,15 (a)	57,65 (b)	50,31
Fibre détergent neutre	60,20 (a)	56,25 (b)	54,75
Énergie	68,38 (a)	61,96 (b)	54,47
Protéine brute	71,91 (a)	68,01 (b)	67,78
Protéine vraie	63,15	63,47	61,42
		Vaches de boucherie	
INGESTION (kg M.S./jour) 1984	12,7 (a)	13,5 (b)	—
INGESTION (kg M.S./jour) 1985	10,75 (a)	11,87 (b)	—

(1) : Résultats sur base de matière sèche
(2) : Foin entreposé à l'extérieur, sous une bâche de plastique.
(a) (b) : Différence significative ($P < 0,05$)
Source : Anderson et al., 1984 et 1985.

4.4.3 Comparaison avec l'ensilage en silo-couloir

4.4.3.1 Ingestion

Le Centre d'étude du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts (C.E.M.A.G.R.E.F.)(1984) propose une échelle théorique d'ingestibilité des ensilages sans conservateur, pour les vaches laitières. Selon cette échelle, l'ingestibilité croît de l'ensilage en coupe directe à 17% M.S., à l'ensilage brin long préfané à 35% M.S., à l'ensilage brin long préfané à 45% M.S., à l'ensilage brin court préfané à 45% M.S. On y rapporte aussi que des génisses laitières alimentées avec un ensilage récolté à l'auto-chargeuse (39% M.S.) ont accusé une croissance de 90 grammes par jour inférieure à celles alimentées avec un ensilage à brin court (25% M.S.), et ce, malgré une ingestion supérieure de 9%.

Une synthèse des résultats de quelques expériences concernant les performances des animaux alimentés avec de l'ensilage de balles rondes et de l'ensilage brin court en silo-couloir apparaît au tableau 4.6. L'effet de la méthode de conservation sur l'ingestibilité n'est pas très évident. Ainsi, avec des bouvillons, Gurnett (1987) n'observe aucune différence de consommation entre l'ensilage de balles rondes et l'ensilage préfané brin court alors que Morrisson et al. (1981) notent une légère tendance à une ingestion plus faible dans le cas des ensilages de balles rondes.

Andrieu et al. (1981) observent, avec des génisses laitières, une différence significative d'ingestion au profit des ensilages de balles rondes par rapport aux ensilages brins courts en silo-couloir.

4.4.3.2 Gain de poids

Les résultats de recherche rapportés au tableau 4.6 dénotent des performances comparables pour les animaux alimentés avec des ensilages de balles rondes et des ensilages brins courts en silo-couloir sans acide. Morrisson et al. (1981) observent une différence significative en faveur des ensilages brins courts alors que la différence observée par Andrieu et al. (1981) en faveur des ensilages de balles rondes et celle observée par Gurnett (1987) en faveur des ensilages brins courts ne sont pas significatives. Par contre, l'ensilage brin court avec acide a permis un gain de poids supérieur au même ensilage sans acide et à l'ensilage de balles rondes (Andrieu et al., 1981).

Tableau 4.6. **Performances des animaux alimentés avec de l'ensilage de balles rondes et de l'ensilage en silo-couloir.**

Résultats de recherche	Ensilage en silo-couloir (brin court) avec acide		sans acide	Ensilage de balles rondes (brin long)	
	Coupe directe 22% M.S.	Préfané 27% M.S.	Préfané 27% M.S.	Mi-fané 40% M.S. sec	Fané 30-40% M.S. sec-meule
ANDRIEU et al., 1981		GÉNISSE LAITIÈRE 1 AN			
Ingestion (kg M.S./jour)	6,78 (B)	—	6,79 (B)	—	7,67 (A)
Gain de poids (kg/jour)	0,89 (a)	—	0,74 (b)	—	0,75 (b)
MORISSON et al., 1981		BOUVILLONS			
Ingestion (kg M.S./jour)	—	6,0	5,7	5,6	—
Gain de poids (kg/jour)	—	0,994	0,99	0,926	—
GURNETT, 1987					
Ingestion (kg M.S./jour)	—	—	—	6,3	6,3
Gain de poids (kg/jour)	—	—	—	0,93	0,88

(a) (b) : Significativement différent à 5%
(A) (B): Significativement différent à 1%

4.4.4 Comparaison avec l'ensilage en silo-tour et silo-meule

Au Service de la zootechnie de Deschambault, en 1986, 87 et 88, on a alimenté des vaches laitières avec de l'ensilage de balles rondes servies **hachées** d'une part, et de l'ensilage en silo-meule (1986) ou en silo-tour (1987 et 1988) d'autre part.

On a observé chez les animaux alimentés à l'ensilage de balles rondes (tableau 4.7):

- une ingestion de matière sèche et une production de lait inférieures à celles obtenues en silo-meule, lorsque l'ensilage de balles rondes était réalisé au même pourcentage de matière sèche que l'ensilage en silo-meule (26% M.S.) (1986);
- une ingestion de matière sèche et une production de lait égales (R.T.M.) ou inférieures (ration séparée) à celles obtenues en silo-tour, lorsque l'ensilage de balles rondes était réalisé au même pourcentage de matière sèche que l'ensilage en silo-tour (40% M.S.) (1987);
- une ingestion de matière sèche et une production de lait inférieures (R.T.M.) ou supérieures (ration séparée) à celles obtenues en silo-tour, lorsque l'ensilage de balles rondes était réalisé à une plus forte teneur en matière sèche que l'ensilage en silo-tour (60 c. 40% M.S.) (1988).

Tableau 4.7. **Effet de l'ensilage de balles rondes et l'ensilage en silo-tour ou silo-meule sur les performances des vaches laitières.** [1]

Critères	Ensilage de balles rondes [2]		Ensilage en silo-meule et silo-tour [3]	
	Ration individuelle	RTM	Ration individuelle	RTM
1986				
Ingestion volontaire (kg M.S./jour)	18,64	18,98	18,90	19,98
Production de lait (kg/jour)	28,10	25,79	28,54	26,79
1987				
Ingestion volontaire (kg M.S./jour)	18,28	19,77	19,38	19,71
Production de lait (kg/jour)	23,46	26,02	25,82	26,12
Lait corrigé (kg/période)	5 351	5 835	6 265	5 660
1988				
Ingestion volontaire (Kg M.S./jour)	19,70	19,67	19,00	20,16
Production de lait (Kg/jour)	31,28	27,59	29,62	28,34
Lait corrigé (Kg/période)	4 431	3 805	3 825	3 929

(1) Les pourcentages de matières sèche des ensilages sont: 26% en 1986, 40% en 1987 et 40% (silo-tour) c. 60% (balles rondes) en 1988.
Ces ensilages comptent pour 47% (base M.S.) de la ration en 1986 et 33% en 1987 et 1988.

(2) L'ensilage de balles rondes est haché avant d'être servi aux animaux.

(3) L'ensilage traditionnel est conservé en **SILO-MEULE EN 1986** (qualité moyenne) et en **SILO-TOUR EN 1987 ET 1988** (bonne qualité).

Source : Service de la zootechnie de Deschambault, Évaluation de l'ensilage de balles rondes, 1986, 87, 88.

Par contre, on a observé en 1988 (tableau 4.8), une ingestion de matière sèche et une production laitière moindres lorsque des vaches laitières étaient alimentées avec des ensilages de balles rondes servies **non hachées** plutôt que hachées. On a également observé, avec des agneaux, une moindre ingestion et une meilleure digestibilité pour les ensilages de balles rondes non hachées par rapport aux balles hachées (tableau 4.8). On explique ce résultat par le fait que, dans le cas des balles non hachées, les agneaux sélectionnaient le matériel le plus digestible.

Tableau 4.8. **Effet du mode d'alimentation de l'ensilage de balles rondes chez les vaches laitières et les moutons.** [1]

Critères		Mode d'alimentation [2]	
		Fourrage haché long	Fourrage non haché
VACHES LAITIÈRES			
Ingestion volontaire	(kg M.S./jour)	18,93	17,01
Production laitière	(kg/jour)	18,60	17,30
Matière grasse du lait	(%)	3,94	3,85
Lait corrigé	(kg/jour)	18,43	16,94
MOUTONS			
Ingestion volontaire	(kg/jour)	1,44	1,24
Digestibilité	(%)	63,61	68,46

(1) L'ensilage de balles rondes est soit haché à environ 50-75 mm de longueur avant d'être servi aux animaux (fourrage haché long) soit laissé à la longueur naturelle (fourrage non haché).

(2) L'ensilage de balles rondes dose 55-60% M.S. et représente 75% de la ration (base M.S.).

Source : Service de la zootechnie de Deschambault, Évaluation de l'ensilage de balles rondes, 1988.

4.5 Conclusion

La qualité de conservation de l'ensilage de balles rondes varie de bonne à médiocre selon le pourcentage de matière sèche du fourrage et le type de plantes ensilées. Les ensilages humides de légumineuses sont les plus susceptibles de présenter une mauvaise conservation.

En vue d'une meilleure évaluation de la qualité des ensilages, on aurait peut-être intérêt à considérer la matière azotée sous des formes autres que son expression brute. Des évaluations d'azote ammoniacal et d'azote soluble devraient également se faire de façon routinière dans nos laboratoires.

La récolte de l'ensilage de balles rondes, moins dépendante des aléas climatiques que le foin sec, permet d'espérer une meilleure qualité de fourrage et donc une amélioration de la production et une diminution des coûts de concentrés.

Les recherches montrent que l'ingestibilité des ensilages de balles rondes servies non hachées et les performances des animaux ainsi alimentés sont bonnes mais plus faibles que pour les ensilages de balles rondes servies hachées et souvent inférieures à celles obtenues avec les ensilages en silo-tour ou en silo-meule.

RÉSUMÉ

1- L'adaptation de l'ensilage de balles rondes à une exploitation donnée est déterminée par la dimension du troupeau, le type de stabulation, la forme de présentation des rations et les besoins des animaux.

2- Les recherches montrent que la qualité de conservation de l'ensilage de balles rondes varie de bonne à médiocre selon le pourcentage de matière sèche du fourrage et le type de plantes ensilées. Les ensilages humides de légumineuses sont les plus susceptibles de présenter une mauvaise conservation.

3- En vue d'une meilleure évaluation de la qualité des ensilages, on aurait peut-être intérêt à considérer la matière azotée sous des formes autres que son expression brute. Des évaluations d'azote ammoniacal et d'azote soluble devraient également se faire de façon routinière dans nos laboratoires.

4- Les résultats des essais zootechniques menés chez les producteurs sont variables, mais dans la plupart des cas les améliorations de production animale observées sont dues au fait que le système de conservation des fourrages utilisé auparavant était le foin sec.

5- La récolte de l'ensilage de balles rondes, moins dépendante des aléas climatiques que le foin sec, permet d'espérer une meilleure qualité de fourrage et donc une amélioration de la production et une diminution des coûts de concentrés.

6- Les recherches montrent également que l'ingestibilité des ensilages de balles rondes servies non hachées et les performances des animaux ainsi alimentés sont bonnes mais plus faibles que pour les ensilages de balles rondes servies hachées et souvent inférieures à celles obtenues avec les ensilages en silo-tour ou en silo-meule.

5. ASPECTS ÉCONOMIQUES

Lorsque vient le temps de remplacer leur presse à balles rectangulaires, les agriculteurs peuvent envisager différentes possibilités, comme acheter de nouveau une presse à balles rectangulaires, ou acheter une presse à balles rondes pour faire du foin et de l'ensilage de balles rondes, ou encore s'équiper pour faire de l'ensilage en silo-meule, tout en conservant la vieille presse pour récolter une petite quantité de foin. Dans cette section, on présentera les principales données économiques actuellement disponibles, qui permettront aux conseillers d'éclairer la décision des producteurs qui hésitent entre ces choix.

On comparera deux systèmes: le premier comporte l'ensilage et le foin de balles rondes, et le second, l'ensilage d'herbe en silo-meule et le foin en petites balles rectangulaires. Dans la comparaison principale, on considère que 75% des fourrages totaux sont récoltés sous forme d'ensilage et 25% sous forme de foin. Les volumes de fourrages étudiés sont 100, 150 et 200 tonnes de matière sèche servies. Le système de foin sec en balles rectangulaires sera utilisé comme système de référence pour certaines comparaisons.

Tous les calculs économiques sont faits en fonction de balles de 1,2 m x 1,2 m (4 pi x 4 pi), cette dimension de balles étant de loin la plus courante pour l'ensilage de balles rondes. Les ratios de 5 balles d'ensilage et de 4 balles de foin par tonne de matière sèche furent retenus.

Comme le but n'est pas d'en arriver à des coûts de production complets et exhaustifs associés à la récolte, l'entreposage et la reprise des fourrages, on a retenu une approche comparative. Les facilités que l'on peut normalement s'attendre à retrouver pour une entreprise type ne sont pas considérées dans la détermination des coûts. Le lecteur et l'utilisateur devraient donc considérer davantage les différences de coûts entre les systèmes étudiés.

La méthode d'analyse utilisée est séquentielle. Dans un premier temps, on présente les investissements considérés dans les modèles (section 5.1) et les coûts de mise sous plastique (section 5.2). On détermine ensuite, à la section 5.3, les frais d'exploitation (par tonne de matière sèche) pour la récolte, l'entreposage et la reprise de la totalité des fourrages produits dans une ferme (ensilage et foin). Ces frais d'exploitation représentent les coûts pour un système idéal, puisqu'ils ne tiennent pas compte de certains facteurs.

Les coûts associés aux pertes de matière sèche (section 5.4), les frais de main-d'oeuvre (section 5.5), de même que le coût des retards d'exécution (section 5.6) sont ajoutés aux frais d'exploitation pour obtenir le prix de revient des fourrages (section 5.7). Les prix de revient ainsi calculés représentent les coûts «maximaux» (par tonne de matière sèche servie) pour la récolte, l'entreposage et la reprise de la totalité des fourrages. Nous comparerons les prix de revient des différents systèmes d'ensilage de balles rondes entre eux (section 5.8), avec ceux du système d'ensilage en silo-meule (section 5.9) et avec ceux du foin en balles rectangulaires (section 5.10).

FRAIS D'EXPLOITATION

+

COÛTS ASSOCIÉS AUX PERTES DE MATIÈRE SÈCHE

+

FRAIS DE MAIN-D'OEUVRE

+

COÛT DES RETARDS D'EXÉCUTION

=

PRIX DE REVIENT

5.1 Investissements

5.1.1 Investissements pour passer du foin en balles rectangulaires à l'ensilage de balles rondes

On trouve au tableau 5.1 une description des investissements de base et de quelques options possibles pour l'ensilage de balles rondes, dans le cas des modèles de 150 et 200 tonnes de matière sèche de fourrage.

Le principal investissement de base est la presse à balles rondes (16 000$). Cet investissement représente 80,6% des investissements totaux de base associés à l'implantation de l'ensilage de balles rondes. On prévoit que cette presse soit neuve, le marché des presses usagées étant actuellement très limité. Les autres investissements de base en équipement sont l'achat d'une fourche avec dents, le renforçage de wagons à foin et la fabrication d'un convoyeur fixe dans l'étable. Les investissements relatifs aux bâtiments sont très faibles: ce sont l'aménagement d'un parc d'entreposage et d'une réserve pour balles.

Dans le cas du modèle de 100 tonnes de matière sèche, aucun investissement n'est prévu pour un parc d'entreposage, un abri pour quelques balles, un distributeur intérieur, ni pour renforcer 1 ou 2 wagons à foin. L'économie réalisée par rapport aux modèles de 150 et 200 tonnes de matière sèche est alors de 3 300$. Dans ces conditions, la presse à balles rondes représente 97% des investissements de base. Les producteurs qui utilisent de petites quantités d'ensilage de balles rondes ont tendance à réduire leurs investissements au minimum, même si cela peut éventuellement se traduire par des pertes plus élevées en fourrages et par une diminution de l'efficacité de la main-d'oeuvre. Normalement, pour des volumes plus élevés, de tels investissements deviennent essentiels.

On compte plusieurs options possibles avec l'ensilage de balles rondes, qui pourront faire grimper le montant des investissements de façon plus ou moins importante: enrobeuse, conformateur, coupe-balles, dérouleur de balles, mangeoire, etc. Ces investissements permettent de mécaniser la mise sous plastique et la reprise de l'ensilage, et dans certains cas, d'abaisser le coût du plastique. Dans les faits, la reprise est peu mécanisée. Les investissements proposés à cette fin sont coûteux (dérouleuse, coupe-balles,..). Les méthodes artisanales de reprise restent très en vogue (ex.: scie à chaînes).

Tableau 5.1. **Investissements liés à l'adoption de l'ensilage de balles rondes pour des modèles de 150 et 200 tonnes de matière sèche de fourrages.** (1)

Nature de l'investissement	Coût de l'investissement	
	Investisements de base	Quelques options
• **Machinerie et équipements**		
-Presse à balles rondes	16 000$	
-Fourches avec dents à balles rondes	550$	
-Renforcer 2 wagons à foin	1 000$	
-Convoyeur fixe dans l'étable (fabric. domestique)	300$	
-Enrobeuse portée (Option)		7 800$
-Enrobeuse remorquée avec dispositif de chargement (Option)		11 300$
-Conformateur (Option)		700$
-Conformateur hydraulique (Option)		3 300$
-Coupe-balles (Option)		1 200$
-Dérouleur de balles (Option)		5 000$
-Mangeoire (Option)		1 100$
-Wagon avec plate-forme (Option)		3 200$
Sous-total:	17 850$	
• **Structure**		
-Réserve pour balles (2 ou 3 jours d'alimentation)		1 000$
-Parc d'entreposage (2,00$/T.M.S.)	2 000$	
Total:	19 850$	

(1) : Seuls les investissements spécifiques à l'ensilage de balles rondes ont été considérés.

La machinerie spécifique à l'ensilage de balles rondes permet la récolte du foin. Nos modèles considèrent que 25% des fourrages sont récoltés sous forme de foin de balles rondes. Certains producteurs qui passent du foin en balles rectangulaires à l'ensilage de balles rondes peuvent obtenir de la récupération de capital par la vente de machines et d'équipements devenus excédentaires. Les montants en cause, s'il y en a, sont très variables d'une entreprise à l'autre, selon l'âge de la machinerie et la demande du marché pour cette dernière. Aucune récupération de capital n'a été retenue dans la présente étude.Si un producteur a de la récupération de capital, il y aura lieu de soustraire les montants récupérés du total des investissements prévus au projet.

5.1.2 Investissements pour passer du foin en balles rectangulaires à l'ensilage en silo-meule

On trouve au tableau 5.2 une description des investissements de base et de quelques options possibles dans le cas de l'adoption de l'ensilage en silo-meule, pour des modèles de 150 et 200 tonnes de matière sèche de fourrage.

Les investissements de base considérés pour l'ensilage en silo-meule sont une fourragère usagée (9 000$), deux boîtes basculantes (9 000$), un chariot d'alimentation motorisé (3 700$) et une réserve avec distributeur (700$). De plus, on prévoit que les plates-formes en béton seront utilisées pour 50% des meules seulement. Dans ces conditions, la capitalisation sur les plates-formes en béton représente de l7% à 30% des investissements totaux de base pour l'introduction des silos-meules.

L'emploi d'une fourragère neuve (13 500$) pourra faire augmenter les investissements de base spécifiques à une entreprise donnée. Il en est de même, si on réalise l'ensilage en silo-meule avec deux boîtes à ensilage (à décharge latérale) neuves (17 000$) et un convoyeur (3 500$). Par contre, certains agriculteurs pourront réaliser des économies, en utilisant des boîtes basculantes artisanales et un chariot d'alimentation non motorisé.

Si l'achat d'un tracteur supplémentaire ou plus puissant est nécessaire pour réaliser l'ensilage en silo-meule, il devient essentiel d'en évaluer l'impact économique. Ainsi, l'achat d'un tracteur supplémentaire usagé au montant de 15 000$ fait augmenter les frais d'exploitation reliés à l'ensilage en silo-meule de 23,31$ et de 17,56$ par tonne de matière sèche, avec les modèles de 150 et 200 tonnes de matière sèche de fourrages, soit des augmentations de 44% et 39% respectivement.

Tableau 5.2. **Investissements liés à l'adoption de l'ensilage en silo-meule pour des modèles de 150 et 200 tonnes de matière sèche de fourrages.** (1) (2)

Nature de l'investissement		Coût de l'investissement investissements de base	Quelques options
◦ **Machinerie et équipements**			
-Tracteur supplémentaire (si nécessaire) (80 HP usagé) (Option)			15 000$
-Fourragère (usagée)		9 000$	
-Fourragère (neuve) (Option)			13 500$
-2 boîtes basculantes		9 000$	
-2 boîtes basculantes artisanales (Option)			3 000$
-Chariot d'alimentation motorisé		3 700$	
-Chariot d'alimentation non motorisé (Option)			1 500$
-2 boîtes à ensilage (Option)			17 000$
-Convoyeur pour mise en meule (Option)			3 500$
-Réserve avec distributeur		700$	
	Sous-total:	22 400$	
◦ **Structure**			
Plate-forme en béton pour 50% des meules	150 T.M.S.	7 232$	
	200 T.M.S.	9 600$	
	Total (150 T.M.S.)	29 632$	
	Total (200 T.M.S.)	32 000$	

(1) : Seuls les investissements spécifiques à l'ensilage en silo-meule ont été considérés.
(2) : Les modèles à 150 et 200 T.M.S. comportent respectivement 113 et 150 T.M.S. d'ensilage soit 75% du fourrage total.

La machinerie spécifique à l'ensilage en silo-meule ne permet pas d'effectuer la récolte du foin. Ainsi, de façon à réduire les frais associés à cette récolte, les utilisateurs de silos-meules ont tendance à réduire au minimum la capitalisation pour la machinerie de récolte du foin (presse, râteau,...). Pour ce faire, l'utilisation de machineries dépréciées et le recours aux travaux à forfait sont des pratiques courantes.

5.1.3 Comparaison des investissements de base pour l'ensilage de balles rondes et l'ensilage en silo-meule

Les investissements de base pour passer du foin en balles rectangulaires à l'ensilage de balles rondes sont inférieurs à ceux qu'exige l'introduction des silos-meules (tableau 5.3). L'ensilage en silo-meule exige de 9 782$ à 12 150$ de plus d'investissements de base que l'ensilage de balles rondes, soit de 49% à 64% de plus.

Tableau 5.3. **Comparaison des exigences en capitalisation de base pour l'introduction de l'ensilage en silo-meule et l'adoption de l'ensilage de balles rondes.**

Volume de fourrage (T.M.S. servies)		Investissements ($)					
		(1) Silo-meule		(2) Ensilage de balles rondes		(1)-(2) Différence	
Total	Ensilage	Total	Par T.M.S.	Total	Par T.M.S.	Total	Par T.M.S.
	(75%)						
100	75	27 200	363	16 550	221	10 650	142
150	113	29 632	262	19 850	175	9 782	87
200	150	32 000	213	19 850	132	12 150	81

5.2 Coût des plastiques pour l'ensilage de balles rondes et l'ensilage en silo-meule

Le système d'ensilage de balles rondes utilise beaucoup de plastique. Le coût du plastique par tonne de matière sèche entreposée varie entre 14,15$ et 32,00$ selon la méthode d'entreposage utilisée (tableau 5.4). Il en coûte donc entre 2,7 fois et 6,2 fois plus cher en plastique pour l'ensilage de balles rondes que pour l'ensilage en silo-meule avec bâche noire de 12 m x 30 m.

Dans le cas de l'ensilage de balles rondes, une méthode d'entreposage avec un faible coût en plastique n'est pas nécessairement la moins coûteuse lorsqu'on considère tous les frais d'exploitation. Lorsque le producteur doit acheter un équipement servant à la pose du plastique ou faire exécuter des travaux à forfait avec cet équipement, il faut tenir compte du loyer annuel rattaché à la possession ou à la location de tels équipements. La figure 5.1 montre l'influence de la méthode d'entreposage de l'ensilage de balles rondes et du nombre de balles ensilées par année, sur les frais d'exploitation pour la mise sous plastique. On trouve en annexe 1 les détails du calcul des frais d'exploitation pour la mise sous plastique.

Tableau 5.4. **Coût du plastique nécessaire à la protection des ensilages.**

Méthode	Plastique utilisé			Capacité *balles **T.M.S.	Coût	
	Épaisseur (microns)	Dimensions (m)	Prix unitaire		$/ Balle	$/ T.M.S.
ENSILAGES DE BALLES RONDES [1]						
Pyramide 2:1	150 100	7,8 X 30 4,8 X 30	115,00 52,00	59*	2,83	14,15
Film étirable	25	0,5 X 1800	110,00 [2]	33*	3,34	16,70
Ligne	150	6,0 X 30	102,50	23*	4,46	22,30
Ligne avec conformateur	150	1,2 X 30	105,00	22*	4,77	23,85
Sac noir	100	2,4 X 3,2	5,40	1*	5,40	27,00
Sac blanc	100	2,4 X 3,2	6,40	1*	6,40	32,00
SILO-MEULE						
Bâche noire	150	12 X 30	205,00	40**	—	5,13
Bâche noire	150	10 X 30	151,00	27**	—	5,59
Bâche noire	150	7,3 X 30	113,00	12**	—	9,41

[1] Si cinq (5) balles de 1,2 m x 1,2 m par T.M.S.
[2] N'inclut pas la bande de réparation (0,22$/balle).

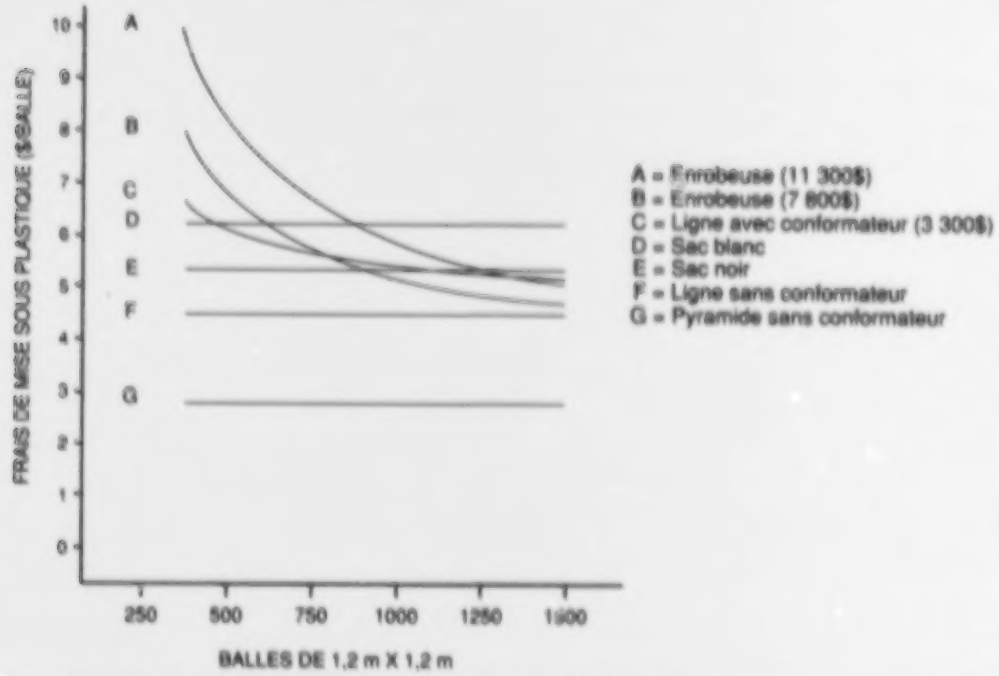


Figure 5.1. **Frais d'exploitation pour la mise sous plastique, selon la méthode d'entreposage de l'ensilage de balles rondes en 1989.** [1]

[1] Les frais d'exploitation pour la mise sous plastique comprennent le coût du plastique plus, s'il y a lieu, le DIRTA associé à l'équipement d'ensilage directement lié à la sorte de film utilisé (enrobeuse, conformateur). Le calcul de ces frais est présenté en annexe 1.

5.3 Frais d'exploitation

Le calcul des frais d'exploitation a été fait selon la méthodologie présentée dans les exemples que l'on trouve en annexe 2, pour les modèles avec ensilage de balles rondes et pour les modèles avec silos-meules.

Dans le calcul des frais d'exploitation, certains coûts communs aux deux systèmes n'ont pas été comptabilisés (ex.: loyer annuel des tracteurs). De plus, on n'a pas tenu compte, dans la détermination des coûts, des facilités généralement rencontrées dans une ferme d'élevage en exploitation, c'est-à-dire que l'on n'a pas prévu d'investissements et de coûts liés à des actifs tels les remises à machinerie et les espaces pour le remisage des balles de foin rectangulaires.

Pour les calculs liés à l'ensilage, on a considéré les investissements de base présentés au tableau 5.1 dans le cas du système d'ensilage de balles rondes et ceux présentés au tableau 5.2 pour le système d'ensilage en silo-meule. Pour les calculs liés au foin, dans le système d'ensilage en silo-meule, on a considéré une valeur dépréciée de machinerie de 7 320$. Cependant compte tenue du peu d'heures d'utilisation de cette machinerie annuellement, les frais de réparation et d'entretien n'ont pas été indexés à la hausse.

Les frais d'exploitation constituent la base de notre analyse mais ils ne tiennent pas compte de certains facteurs. Dans les sections qui suivent, nous allons analyser et tenter de quantifier l'influence de d'autres facteurs sur le coût de récolte et d'entreposage des fourrages. Ces facteurs sont:

- les frais variables supplémentaires pour compenser les pertes de matière sèche (section 5.4);
- les frais en main-d'oeuvre de base ainsi que les frais supplémentaires en main-d'oeuvre pour compenser les pertes de matière sèche (section 5.5);
- les coûts maximaux reliés aux retards d'exécution (section 5.6).

5.4 Pertes de matière sèche

5.4.1 Importance des pertes

Chaque système de récolte et conservation des fourrages se caractérise par un certain pourcentage de pertes de matière sèche qui dépend principalement de la durée de séchage au champ et de la méthode de récolte, d'entreposage et d'alimentation. Les pertes à chacun de ces niveaux sont désignées sous le nom de pertes au champ, pertes en entrepôt et pertes à la reprise.

Le tableau 5.5 permet de comparer les pertes de matière sèche de différents systèmes de récolte et conservation des fourrages. On constate que:

- les pertes au champ augmentent avec le pourcentage de matière sèche lors de la récolte et dépendent de la probabilité que le fourrage subisse de la pluie;
- les pertes par respiration et fermentation diminuent avec le pourcentage de matière sèche lors de la récolte;

- les pertes de fourrage non consommable dépendent de la fragilité de la méthode d'entreposage: elles sont importantes dans le cas de l'ensilage de balles rondes en sac et lorsque les balles sont groupées en ligne ou en pyramide;

- les pertes à la reprise dépendent de la capacité de reprendre tout le fourrage ensilé et de le servir aux animaux sans refus: elles sont un peu plus élevées dans l'ensilage en silo-meule, lorsqu'une partie des meules ne sont pas sur une plate-forme de béton.

Lorsqu'on considère les pertes totales de matière sèche en fonction de la probabilité de pluie (A), on constate que l'ensilage de balles rondes (28%-35% de pertes, selon la méthode d'entreposage) est plus affecté par les pertes que l'ensilage en silo-tour et en silo-meule (22%-24% de pertes). Les pertes avec l'ensilage de balles rondes se comparent à celles observées dans le cas du foin en balles rectangulaires (28%-35% de pertes, selon qu'il est fait avec ou sans séchoir). Elles sont plus faibles que celles observées dans le cas du foin de balles rondes (37%-41% de pertes, selon qu'on l'entrepose à l'intérieur ou à l'extérieur).

Le système d'ensilage de balles rondes enrobées avec un film étirable a des pertes totales plus faibles que les méthodes d'entreposage des balles rondes en sac, en ligne et en pyramide (28% contre 35% de pertes). Cependant les pertes peuvent être réduites à 31% avec ces méthodes, lorsqu'on a un excellent contrôle de la vermine.

Tableau 5.5. **Pertes de matière sèche pour divers systèmes de récolte et conservation des fourrages.** [1]

Système		Probabilité de pluie	Perte au champ [2] A B C	Perte en entrepôt			Perte à la reprise	Perte totale pondérée [2] A B C
				Ferm. resp.	Four. non consommable	Total		
Silo-meule	25% M.S.	27%	4% (3-6%)	13%	2%	15%	7% (3)	24% (23-26%)
	30% M.S.	43%	7% (4-10%)	10%	2%	12%	7% (3)	24% (21-26%)
Silo-tour	35% M.S.	43%	11% (7-16%)	8%	2%	10%	5%	24% (20-28%)
Silo hermétique	50% M.S.	45%	15% (10-22%)	4%	0%	4%	5%	22% (18-29%)
Ensilage de	Sac [3]	45%	16% (11-23%)	6%	8-16% [4]	14-22%	5%	35% (31-40%)
balles rondes	Ligne, pyramide [3]	45%	16% (11-23%)	6%	8-16% [4]	14-22%	5%	35% (31-40%)
45% M.S.	Film étirable	45%	16% (11-23%)	6%	4%	10%	5%	28% (24-34%)
Foin en balles	Avec séchoir	56%	21% (14-26%)	2%	2%	4%	5%	28% (22-32%)
rectangulaires	Sans séchoir	67%	29% (21-33%)	2%	2%	4%	5%	35% (28-39%)
Foin en balles	À l'extérieur [6]	67%	29% (21-33%)	2%	10%	12%	5%	41% (34-44%)
rondes	À l'intérieur	67%	29% (21-33%)	2%	4%	6%	5%	37% (29-40%)

[1] Sans utilisation d'additif de conservation.

[2] A= perte en tenant compte de la probabilité de pluie B= perte sans pluie C= perte avec pluie.

[3] Plate-forme pour 50% des meules.

[4] Perte avec un bon contrôle de la vermine (1er nombre) et par suite de problèmes de vermine (2e nombre).

[5] La perte totale indiquée est celle obtenue lorsque la perte de fourrage non consommable est de 12%, dont 4% due à la vermine. Avec un excellent contrôle de la vermine, la perte totale de matière sèche est réduite à 31% (27-37%).

[6] Entreposage avec une protection minimale contre les intempéries.

Adapté de: Comité de références économiques en agriculture du Québec, 1989.
Service de la zootechnie de Deschambault, Évaluation de l'ensilage de balles rondes, 1986,1987,1988.

5.4.2 Frais variables supplémentaires pour compenser les pertes de matière sèche

Les pertes de matière sèche se traduisent par des frais supplémentaires. Les frais fixes pour compenser les pertes de matière sèche ont été inclus dans les frais d'exploitation. En effet, les investissements des systèmes tiennent compte des pertes de matière sèche. Par exemple, les dimensions des surfaces d'entreposage ont été établies en fonction du volume de fourrage récolté et non pas du volume de fourrage servi. On traitera donc ici uniquement des frais variables pour compenser les pertes de matière sèche.

La détermination des frais variables supplémentaires pour compenser les pertes de matière sèche a été faite en considérant les pertes sans pluie (B) apparaissant au tableau 5.5. On déterminera à la section 5.6 le coût des retards d'exécution en supposant que l'agriculteur ne prend pas le risque de faucher lorsque les services météorologiques prévoient de la pluie.

Les pertes de matière sèche ne génèrent pas toutes des frais variables de même importance. Les pertes de matière sèche au champ ont un impact monétaire très faible, vu que le producteur n'a pas besoin d'entreposer la matière sèche perdue au champ. Quant aux pertes de matière sèche après récolte, elles impliquent des frais élevés parce que le producteur doit supporter en plus des frais de récolte, les frais d'entreposage et de reprise.

C'est le système avec 100% de foin en balles rectangulaires qui a les frais variables pour compenser les pertes de matière sèche les plus faibles. Ce système se classe ainsi, même s'il comporte des pertes totales élevées, parce que la plus grande partie des pertes de matière sèche se produisent au champ. Il est donc considéré comme le système de référence dans l'analyse des frais variables dus aux pertes de matière sèche.

Pour les systèmes étudiés, les frais variables supplémentaires pour compenser les pertes de matière sèche, exprimés sous forme de différentiel par rapport au foin en balles rectangulaires, s'établissent comme suit:

Ensilage de balles rondes (75%)	
• en sac	4,78$/T.M.S.
• en ligne	4,12$/T.M.S.
• en pyramide 2:1 sans conformateur	2,23$/T.M.S.
• enrobées	1,44$/T.M.S.
Silo-meule (75%)	0,51$/T.M.S.
Foin en balles rectangulaires (100%)	0,00$/T.M.S.

Les systèmes qui ont des pertes élevées après récolte ou des frais variables élevés à la récolte et à l'entreposage, sont les plus handicapés par les pertes de matière sèche. Ainsi les systèmes d'ensilage de balles rondes en ligne et en sac ont des frais variables pour compenser les pertes de matière sèche qui sont élevés, soit 4,12$ (en ligne) et 4,78$ (en sac). Les ensilages de balles rondes en pyramide et enrobées ont des frais variables pour compenser les pertes de matière sèche qui sont intermédiaires entre ceux observés pour les autres systèmes d'ensilage de balles rondes et pour le foin en balles rectangulaires (ou les silos-meules).

Les frais variables pour compenser les pertes de matière sèche constituent un élément relativement important, puisque la différence entre deux systèmes peut atteindre 4,78$/T.M.S. lorsqu'on compare le foin en balles rectangulaires ou le silo-meule avec les différents systèmes avec ensilage de balles rondes.

5.5 Frais de main-d'oeuvre

La réduction des exigences en main-d'oeuvre est toujours un objectif visé lors du choix d'une méthode de récolte et d'entreposage des fourrages. Le tableau 5.6 présente les exigences en main-d'oeuvre des différentes méthodes de récolte et d'entreposage des fourrages, pour des chantiers de trois personnes. On constate que l'ensilage de balles rondes exige plus de main-d'oeuvre que l'ensilage en silo-meule. Par contre, le foin de balles rondes est moins exigeant en main-d'oeuvre que le foin en balles rectangulaires.

Tableau 5.6. **Main-d'oeuvre requise pour la récolte et l'entreposage des fourrages.** [1]

Méthode de récolte	Méthode d'entreposage	Heures de travail [2] (h/T.M.S. récoltée)	Coût de la main-d'oeuvre [3] ($/T.M.S. récoltée)
Presse à balles rondes	Sac	1,50	9,00$
	Enrobeuse	1,25	7,50$
	Ligne	1,03	6,18$
	Pyramide 2:1	0,91	5,46$
	Foin	0,60	3,60$
Presse avec lance-balles	Grange pêle-mêle	1,11	6,66$
Fourragère et boîtes basculantes	Silo-meule	0,77	4,62$

[1] À partir du tableau 2.9.
[2] Chantier de 3 hommes, 10 heures par jour.
[3] Salaire horaire = 6,00$.

On trouve au tableau 5.7 les coûts en main-d'oeuvre pour des systèmes complets (ensilage et foin) lorsque le salaire horaire est de 6,00$. On y distingue les frais de main-d'oeuvre de base (en l'absence de pertes de matière sèche) et les frais de main-d'oeuvre pour compenser les pertes de matière sèche. Au niveau des frais de main-d'oeuvre de base, l'écart maximal entre deux systèmes à 75% d'ensilage est de 2,65$/T.M.S., pour les systèmes étudiés, avec des chantiers de 3 personnes. Pour les frais supplémentaires en main-d'oeuvre dus aux pertes de matière sèche, le coût présenté est le différentiel par rapport au foin en balles rectangulaires.

Tableau 5.7. **Coût en main-d'oeuvre de différents systèmes de récolte et d'entreposage.** [1]

Système de récolte et d'entreposage			Coût de la main-d'oeuvre ($/T.M.S. servie)		
Ensilage		Foin	M.O. de base [2]	M.O. due aux pertes de M.S. [3]	M.O. totale
BALLES RONDES		BALLES RONDES			
En sac	75%	25%	7,65	1,18	8,83
Film étirable	75%	25%	7,29	0,13	7,42
En sac	50%	50%	6,30	0,83	7,13
En ligne	75%	25%	5,53	0,63	6,16
En ligne	50%	50%	4,89	0,46	5,35
Pyramide 2:1	75%	25%	5,00	0,14	5,14
Pyramide 2:1	50%	50%	4,53	0,05	4,58
SILO-MEULE		BALLES RECTANGULAIRES			
75%		25%	5,13	0,14	5,27
		BALLES RECTANGULAIRES			
		100%	6,66	0,00	6,66

[1] Salaire horaire = 6,00$.
[2] En l'absence de pertes de matière sèche.
[3] Frais supplémentaires en main-d'oeuvre pour compenser les pertes de matière sèche.

Le système avec ensilage de balles rondes en sac est de loin le plus coûteux en main-d'oeuvre. Il exige 72% plus de main-d'oeuvre que le système le plus efficace, soit celui avec ensilage de balles rondes en pyramide 2:1 (8,83$ c. 5,14$/T.M.S. servie). Par contre, il y a très peu de différence entre le système d'ensilage de balles rondes en pyramide 2:1 et le système avec silo-meule, soit à peine 2,5% (5,14$ c. 5,27$/T.M.S. servie).

Une augmentation du pourcentage de foin dans un modèle avec ensilage de balles rondes a comme conséquence d'abaisser sensiblement les frais en main-d'oeuvre. Par exemple, en augmentant la quantité de foin de 25 à 50% dans le modèle avec ensilage de balles rondes en sac, les frais de main-d'oeuvre par tonne de matière sèche servie passent de 8,83$ à 7,13$, soit une diminution de 1,70$.

Les systèmes qui exigent plus de main-d'oeuvre sont plus sensibles et vulnérables aux imprévus, tels les bris mécaniques, le mauvais temps et les disponibilités de la main-d'oeuvre. Cette vulnérabilité se traduit par une perte d'efficacité de la main-d'oeuvre et possiblement des coûts monétaires plus élevés et/ou du mécontentement des utilisateurs.

5.6 Retards d'exécution

5.6.1 Baisse de valeur alimentaire due à des retards de récolte

Le stade de maturité de la plante à la récolte influence grandement sa valeur alimentaire et son niveau d'ingestion par les animaux. Le tableau 5.8 donne un aperçu de la baisse de valeur alimentaire et du taux d'ingestion de la fléole et de la luzerne dus à des retards de récolte. Ainsi, tout délai d'exécution à la récolte est susceptible d'entraîner des coûts indirects. Jubinville et al. (1983) ont estimé ces pertes à 2,55$ par tonne et par jour pour la fléole, et à 2,28$ pour la luzerne, sur une période de récolte d'environ 3 semaines. On utilisera une valeur de 2,50$ par tonne et par jour dans nos calculs.

Tableau 5.8. **Évolution de la protéine brute, de l'énergie nette de lactation et du taux d'ingestion de la fléole et de la luzerne.**

	Fléole	Luzerne
Période étudiée	début épiaison à pleine floraison (20 jours)	bouton à fin floraison (21 jours)
Protéine brute	-0,22% / j	-0,16% / j
Énergie nette lactation	-0,009 Mcal/kg/j	-0,005 Mcal/kg/j
Ingestion	-0,04 kg/100 kg/j	-0,02 kg/100 kg/j

Adapté de : Jubinville et al., 1983.

5.6.2 Capacité climatique des méthodes de récolte

La capacité théorique (tonnes de matière sèche par jour de ramassage) et la dépendance climatique (exigence climatique et probabilité de réalisation) des méthodes de récolte sont les deux principaux facteurs qui déterminent les délais de récolte d'un volume donné de fourrage. Avec ces paramètres de départ, nous avons développé le concept de capacité climatique, c'est-à-dire le nombre de tonnes de matière sèche qui peut être récolté en moyenne par jour de calendrier et sans dommage par la pluie. Cette capacité climatique tient compte des probabilités moyennes de précipitations au Québec lors de la première coupe. On considère que généralement les retards d'exécution sont imputables à la première récolte seulement puisque les stades de croissance des repousses sont désynchronisées par la première fauche. On trouvera en annexe 3 les capacités climatiques de diverses méthodes de récolte en fonction des paramètres retenus.

De façon théorique, la capacité climatique est donc la capacité permettant d'éliminer les dommages dus aux précipitations après la fauche; par ailleurs, les séquences de temps favorable sont utilisées à 100%. En pratique, le producteur assume certains risques face à l'incertitude du climat. Le producteur qui ne prendra pas de risque perdra sans doute des séquences favorables et obtiendra des capacités réelles plus faibles ce qui entraînera des pertes de qualité plus grandes dues aux délais de récolte. A l'opposé, celui qui risque plus augmentera les capacités du système mais une portion de sa récolte subira à coup sûr des dommages par les précipitations.

5.6.3 Temps de récolte selon le système de récolte

On trouve en annexe 5 les temps d'exécution (calculés selon les capacités climatiques de l'annexe 3) pour les modèles de ferme et les systèmes de récolte retenus.

5.6.4 Coût des délais d'exécution

Le tableau 5.9 illustre les coûts relatifs des délais d'exécution. Ils ont été calculés à partir des temps moyens de récolte apparaissant à l'annexe 5. Ces coûts peuvent être considérés comme les coûts maximaux dus aux délais d'exécution, puisqu'ils ont été évalués à partir des temps d'éxécution permettant d'éliminer à 100% les dommages climatiques alors que dans la réalité le producteur assume toujours un certain risque. En pratique, les coûts dus aux délais varieront de zéro (0) jusqu'aux chiffres mentionnés, selon les stratégies du producteur (niveau de risques).

Tableau 5.9. **Coûts comparatifs estimés des délais d'exécution sans dommage climatique selon les systèmes de récolte et les volumes de fourrages.**

Systèmes de récolte		Coûts totaux [1] et (coûts / T.M.S. servie) [2]		
		Modèles de ferme (T.M.S. servies)		
Foin 25%	**Ensilage 75%**	**100**	**150**	**200**
Balles carrées [3]	Silo-meule préfané	0	951$ (6,34$)	2 281$ (11,40$)
Balles rondes	Balles rondes			
	- ligne	238$ (2,38$)	1 485$ (9,90$)	3 230$ (16,15$)
	- pyramide	194$ (1,94$)	1 387$ (9,25$)	3 057$ (15,28$)
	- sac	401$ (4,01$)	1 852$ (12,35$)	3 883$ (19,41$)
	- enrobeuse [4]	314$ (3,14$)	1 656$ (11,04$)	3 535$ (17,67$)
Foin 50%	**Ensilage 50%**			
Balles carrées [3]	Silo-meule préfané	251$ (2,51$)	1 515$ (10,10$)	3 284$ (16,42$)
Balles rondes	Balles rondes (pyramide, ligne, sac et enrobeuse [4]	517$ (5,17$)	2 113$ (14,09$)	4 347$ (21,73$)
Foin 100%				
Balles carrées [3]		417$ (4,17$)	1 889$ (12,59$)	3 950$ (19,75$)
Balles rondes		772$ (7,72$)	2 687$ (17,91$)	5 369$ (26,84$)

[1] Volume total x 60%(1re coupe) x $\frac{\text{tarif de récolte}}{2}$ x 2,50$ - 760$

Le montant de 760$ déduit correspond aux pertes estimées dans le système balles carrées (25%) et silo-meule préfané (75%) pour le modèle 100 tonnes de M.S. servies. Ce calcul est effectué dans le but d'obtenir des coûts comparatifs de retard d'exécution entre les systèmes.

[2] Coûts / T.M.S. servie = coûts totaux / volume total

[3] Avec lance-balles et séchoir(s).

[4] Enrobage au site d'entreposage.

5.7 Prix de revient des fourrages

On trouve en annexe 6 les coûts associés à chacun des éléments considérés dans la détermination du prix de revient pour la récolte, l'entreposage et la reprise des fourrages, soit les frais d'exploitation, les frais associés aux pertes de matière sèche, les frais de main-d'oeuvre et les coûts maximaux reliés aux retards d'exécution. D'autre part, l'annexe 6 présente le prix de revient de même que les écarts des prix de revient par rapport au foin en balles rectangulaires pour chaque système étudié.

D'autres facteurs peuvent influencer le prix de revient des fourrages. C'est le cas si on utilise des additifs de conservation. Dans les différents modèles présentés en annexe 6, aucun additif de conservation n'a été inclus. Dans le cas où l'utilisation de ces produits est prévue, il y a lieu d'apporter les ajustements qui s'imposent aux calculs économiques. L'emploi systématique de ces produits est loin de faire l'unanimité même si leur emploi peut être souhaitable sous certaines conditions.

Compte tenu de l'état actuel de la recherche et faute de données satisfaisantes, il demeure quelques éléments qui n'ont pu être quantifiés et considérés dans le prix de revient «tout fourrage». Parmi ces éléments, citons, entre autres, l'effet du mode de récolte et de conservation des fourrages (foin ou ensilage) sur leur valeur alimentaire, l'effet des différentes formes d'alimentation (fourrage long ou haché) sur la production des animaux et l'effet du type d'élevage (vache-veau, vache laitière) sur les exigences en fourrage de qualité.

Les données de l'annexe 6 constituent l'élément de base de l'analyse du prix de revient des fourrages. Celle-ci se fera en deux étapes. Dans un premier temps, à la section 5.8, on comparera les différents systèmes d'ensilage de balles rondes entre eux. Par la suite, on fera la comparaison avec d'autres systèmes de récolte et de conservation des fourrages, soit le système avec ensilage en silo-meule, à la section 5.9, et le système de foin en balles rectangulaires, à la section 5.10.

5.8 Comparaison des différents systèmes d'ensilage de balles rondes

5.8.1 Analyse du prix de revient

La figure 5.2 montre bien que la méthode d'entreposage choisie pour l'ensilage de balles rondes influence grandement le prix de revient. En prenant l'ensilage de balles rondes en sac comme système de référence, on constate que l'entreposage en ligne et en pyramide 2:1 permet de réduire le prix de revient par tonne de matière sèche servie de 9,30$ et 18,98$ respectivement soit une diminution moyenne de 13% dans le premier cas et de 26% dans le second cas. Par contre, lorsqu'on utilise un conformateur pour réaliser l'entreposage en ligne, les frais d'exploitation sont légèrement plus élevés qu'avec la méthode manuelle.

Le choix de la méthode d'enrobage à l'aide de film étirable implique un investissement de 7 800$ (enrobeuse portée) à 11 300$ (enrobeuse traînée). Pour le modèle de 100 tonnes de matière sèche, un tel investissement fait augmenter le prix de revient par tonne de matière sèche servie de 3,80$ à 11,10$ par rapport à l'entreposage en sec. Par contre, pour le modèle de 200 tonnes de matière sèche, le prix de revient diminue de 5,21$ et 1,57$ selon le type d'enrobeuse.

Ainsi, pour une capacité de 100 T.M.S. servies, les différents systèmes d'ensilage de balles rondes se classent dans l'ordre suivant, du prix de revient le plus faible au plus élevé:

- pyramide 2:1
- ligne (sans conformateur)
- ligne avec conformateur (3 300$)
- sac
- enrobeuse traînée (7 800$)
- enrobeuse portée (11 300$)
- enrobeuse portée + équipement d'alimentation (8 100$)

Par contre, pour 150 et 200 T.M.S. ensilés, le système en sac a un prix de revient plus élevé que le système avec enrobeuse traînée.

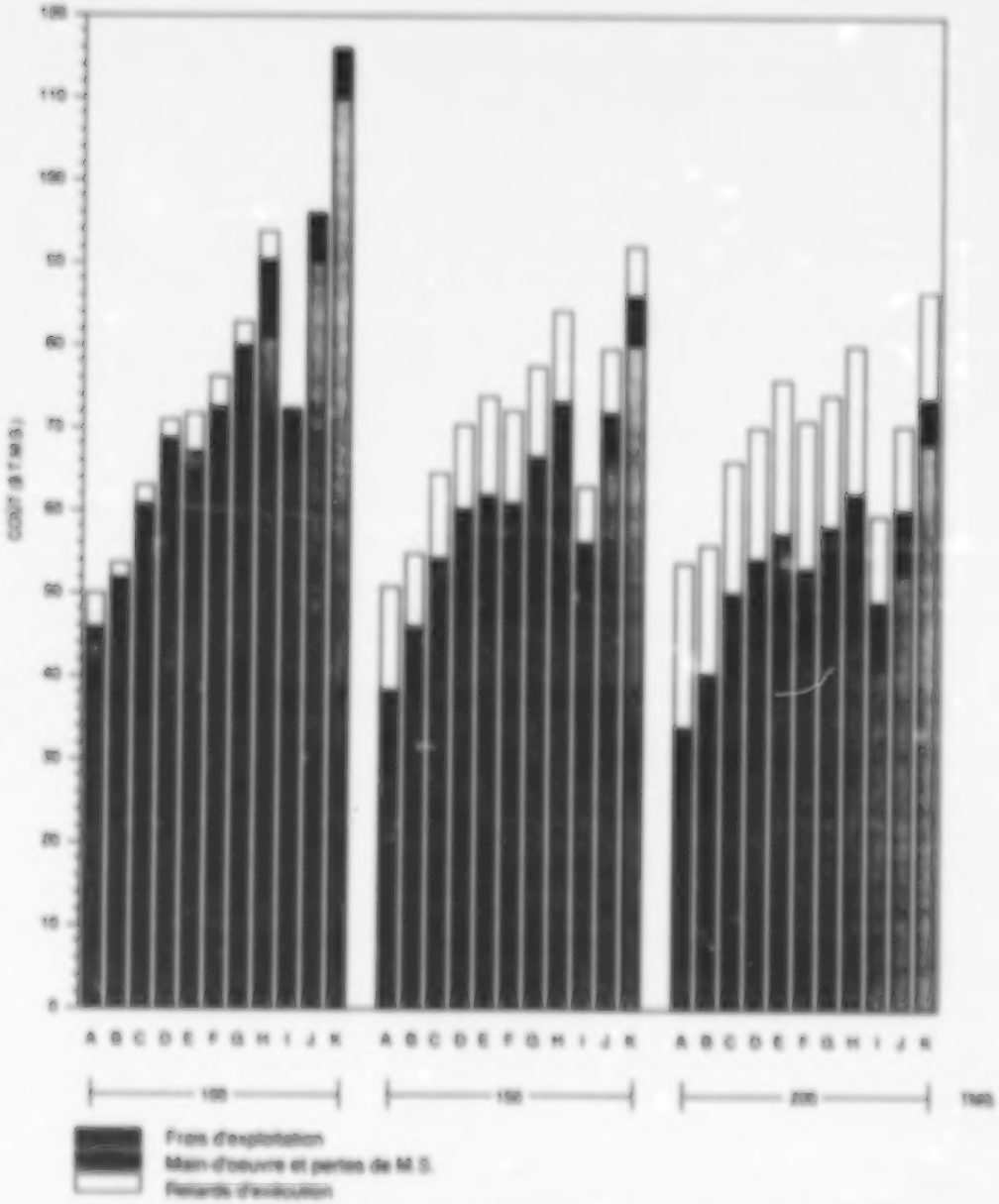


Figure 5.2. **Composantes du prix de revient selon le système de récolte et d'entreposage et le volume de fourrage.**

A = FOIN balles rectangulaires
B = E.B.R. pyramide sans conformateur
C = E.B.R. ligne sans conformateur
D = E.B.R. ligne + conformateur (3 300$)
E = E.B.R. sac (5,40$ l'unité)
F = E.B.R. enrobeuse (7 800$)
G = E.B.R. enrobeuse (11 300$)
H = E.B.R. enrobeuse (11 300$) + 6 100$
I = SILO-MEULE syst. de base
J = SILO-MEULE syst. de base + 15 000$
K = SILO-MEULE syst. de base + 27 500$

La figure 5.2 montre aussi que dans le cas de plusieurs modèles avec ensilage de balles rondes, le prix de revient est à peu près stable, lorsque le volume de fourrage alimenté annuellement passe de 100 à 200 tonnes de matière sèche. Cela vient du fait que la diminution des frais d'exploitation de base par tonne de matière sèche est annulée par les coûts croissants des délais d'exécution. Ainsi, dans le cas des modèles d'ensilage de balles rondes en ligne et en pyramide, l'écart entre les volumes de 100 et 200 T.M.S. ne dépasse pas 2,00$ par T.M.S. Pour les modèles d'ensilage de balles rondes impliquant des investissements pour la mise sous plastique, la diminution du prix de revient est de 5,00$ à 18,00$ par T.M.S. selon le niveau d'investissement, lorsque le volume de fourrage passe de 100 à 200 T.M.S.

5.8.2 Autres facteurs

D'autres facteurs tels que la méthode d'alimentation, la réalisation de travaux à forfait et la proportion de la récolte sous forme de foin peuvent influencer le prix de revient de l'ensilage de balles rondes.

1° La méthode d'alimentation

La méthode d'alimentation peut avoir un effet significatif sur le prix de revient. Ainsi un investissement supplémentaire de 6 100$ pour l'achat d'une dérouleuse et d'une mangeoire à balles rondes fait augmenter le prix de revient de 10,73$, 7,15$ et 5,37$ pour les modèles de 100, 150 et 200 tonnes de matière sèche servies (annexe 6). Le prix de revient de chaque système d'ensilage de balles rondes devrait être majoré de la sorte, si on considère un investissement supplémentaire de 6 100$ pour la distribution des balles rondes aux animaux.

2° La réalisation de travaux à forfait

La possession d'équipements pour l'enrobage exige un gros volume d'ensilage. Pour atteindre le volume désiré, la possibilité de faire des travaux à forfait ou l'acquisition en commun offrent des perspectives intéressantes. Les donnée présentées en annexe 6 montrent de quelle façon le prix de revient est réduit si on réalise des travaux à forfait de façon à porter à 200 tonnes de matière sèche la quantité de fourrage mis sous plastique annuellement. Cette alternative permet de réduire les coûts de façon importante et d'amincir l'écart entre les modèles de 100 et de 200 T.M.S. Dans certains cas on aurait probablement avantage à réaliser du forfait au delà des quantités retenues pour fin d'étude.

D'autre part, de nombreux producteurs auraient intérêt à faire récolter à forfait, pour autant bien sûr que le coût du forfait et que les conditions fixées par l'entrepreneur soient raisonnables. Ce serait particulièrement le cas pour les producteurs qui récoltent sous forme d'ensilage de balles rondes une deuxième ou une troisième coupe qui, en temps normal, serait restée au champ. On trouve en annexe 7 quelques indications concernant le pressage à forfait.

3° La proportion de la récolte sous forme de foin

Dans les systèmes avec ensilage de balles rondes, la récolte d'une plus grande proportion du fourrage sous forme de foin diminue significativement les frais d'exploitation, vu que le foin est nettement moins coûteux à produire que l'ensilage. Ainsi, dans le cas du modèle d'ensilage de balles rondes en ligne, sans conformateur, lorsque le pourcentage de fourrage récolté sous forme de foin passe de 25 à 50%, les frais «tout fourrage» diminuent en moyenne de 5,70$ par tonne de matière sèche (annexe 6).

Par contre, la récolte d'une plus grande proportion de fourrage sous forme de foin de balles rondes implique des coûts de délais d'exécution plus élevés (tableau 5.10). Ainsi, lorsqu'on considère le prix de revient, on constate que, dans le cas de l'ensilage de balles rondes en ligne, sans conformateur, l'alternative 50:50 présente un avantage moyen de 3,13$ par T.M.S. sur l'alternative 75:25.

Ce résultat s'applique lorsque tout le foin est produit en première coupe, de sorte qu'il n'y a aucune perte de valeur due aux délais d'exécution en deuxième coupe. Une stratégie différente, soit

la réalisation d'un plus grand volume d'ensilage à la première coupe, obtenue en partageant la récolte de foin sur deux coupes, réduirait le coût des délais d'exécution et favoriserait davantage l'alternative 50:50.

D'autres facteurs, tel que le type d'élevage peuvent influencer la décision, si on considère le fait qu'un retard d'exécution n'a pas la même signification selon le type d'élevage. Par exemple, une entreprise vache-veau n'a pas besoin d'autant de fourrage de qualité qu'une entreprise laitière.

5.9 Comparaison avec le système d'ensilage en silo-meule

5.9.1 Point d'équilibre

La figure 5.3, tracée à partir des données de l'annexe 6, situe le prix de revient des systèmes d'ensilage de balles rondes par rapport à ceux des systèmes d'ensilage en silo-meule. On compare huit modèles d'ensilage en balles rondes et trois modèles d'ensilage en silo-meule.

Cette figure montre que lorsqu'on tient compte des délais d'exécution, les modèles d'ensilage en silo-meule permettent de réaliser des économies d'échelle qui sont significatives, de l'ordre de 18,00$/T.M.S. pour le système de base. Par contre, dans le cas des modèles d'ensilage de balles rondes, les économies d'échelle sont inférieures à 2,00$ lorsqu'il n'y a pas d'investissement pour la mise sous plastique, alors qu'elles varient entre 5,00$ et 13,00$ lorsque la mise sous plastique est réalisée avec un conformateur (3 300$) ou avec une enrobeuse (11 300$).

En fonction du prix de revient, les points d'équilibre des systèmes d'ensilage en balles rondes par rapport au système de base d'ensilage en silo-meule (a) et par rapport au système de base + 15 000$ (b) sont les suivants:

	(a)	(b)
Pyramide 2:1	: > 200 T.M.S.	>> 200 T.M.S.
Ligne sans conformateur	: 140 T.M.S.	> 200 T.M.S.
Ligne avec conformateur (3 300$)	: 105 T.M.S.	200 T.M.S.
Sac	: 100 T.M.S.	170 T.M.S.
Enrobeuse portée (7 800$)	: < 100 T.M.S.	200 T.M.S.
Enrobeuse traînée (11 300$)	: N.D.	165 T.M.S.
Enrobeuse traînée + 6 100$	: N.D.	100 T.M.S.

Le prix de revient d'un système donné d'ensilage de balles rondes est inférieur à celui du système de base d'ensilage en silo-meule lorsque la quantité de fourrage récolté annuellement est inférieure au tonnage mentionné (point d'équilibre).

Ainsi, dans un contexte d'investissement minimal, le volume de fourrage pour lequel il n'y a pas d'écart significatif dans le prix de revient entre les deux systèmes, se situe entre 100 et 150 tonnes de matière sèche, lorsque l'ensilage de balles rondes est entreposé en sac ou en ligne, sans conformateur, et au-delà de 200 tonnes de matière sèche, lorsque l'ensilage de balles rondes est entreposé en pyramide 2:1 sans conformateur.

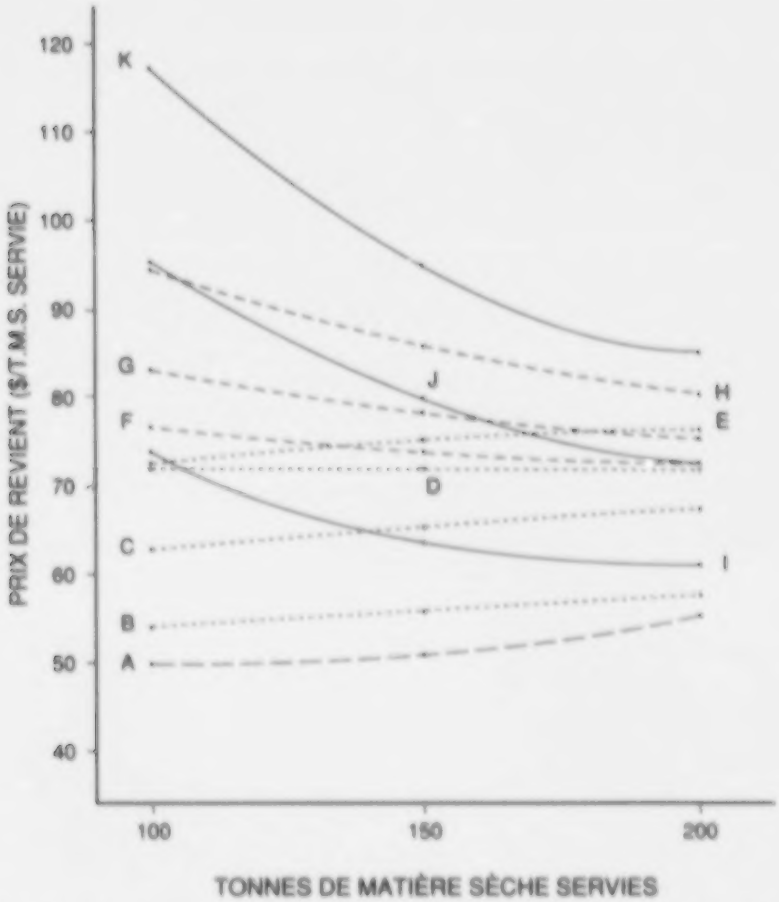


Figure 5.3. **Prix de revient selon le système de récolte et d'entreposage et le volume de fourrage**

A = FOIN balles rectangulaires
B = E.B.R. pyramide sans conformateur
C = E.B.R. ligne sans conformateur
D = E.B.R. ligne + conformateur (3 300$)
E = E.B.R. sac (5,40$ l'unité)
F = E.B.R. enrobeuse (7 800$)
G = E.B.R. enrobeuse (11 300$)
H = E.B.R. enrobeuse (11 300$) + 6 100$
I = SILO-MEULE syst. de base
J = SILO-MEULE syst. de base + 15 000$
K = SILO-MEULE syst. de base + 27 500$

Pour une capacité de 200 tonnes de matière sèche servies, seul le système d'ensilage de balles rondes en pyramide 2:1 a un prix de revient inférieur à celui du système de base d'ensilage en silo-meule. Par contre, pour une capacité de 100 T.M.S. les systèmes d'ensilage de balles rondes en pyramide 2:1 et en ligne sans conformateur ont un prix de revient significativement inférieur à celui du système de base d'ensilage en silo-meule, tandis que les systèmes d'ensilage de balles rondes en ligne avec conformateur et en sac ont un prix de revient équivalent à ce dernier. Les systèmes d'ensilage de balles rondes avec enrobeuse ne sont pas compétitifs avec le système de base d'ensilage en silo-meule.

Le prix de revient dépend beaucoup du niveau d'investissement considéré pour chaque système d'ensilage. Dans le cas de l'ensilage de balles rondes, un investissement supplémentaire de 6 100$ pour la distribution de l'ensilage ferait augmenter légèrement le prix de revient pour chaque système (annexe 6). Par ailleurs, un investissement supplémentaire de 15 000$ ou même de 27 500$ pour l'ensilage en silo-meule fait grimper le prix de revient de façon très marquée (figure 5.3). D'où l'importance de bien cibler les investissements réels pour un projet donné.

5.9.2 *Répartition des frais d'exploitation entre le foin et l'ensilage*

La figure 5.4 présente les frais d'exploitation pour l'ensilage, pour le foin et pour le fourrage total, dans le cas des systèmes de base avec ensilage de balles rondes (sac, ligne et pyramide) et avec ensilage en silo-meule. A l'examen de ces données, on constate qu'avec les modèles d'ensilage de balles rondes, les frais d'exploitation pour l'opération foin ne représentent que 59% à 65% de ceux du système avec silo-meule. Cela vient du fait que la machinerie spécifique à l'ensilage de balles rondes permet la récolte du foin, de sorte que les frais d'exploitation pour l'opération foin sont réduits. Le coût élevé du foin dans le modèle silo-meule remet en cause la pratique qui consiste à conserver la machinerie nécessaire à la récolte de petites quantités de foin (50 T.M.S. et moins). L'augmentation du pourcentage d'ensilage, le recours aux travaux à forfait ou tout simplement l'achat de foin peuvent facilement devenir des solutions moins coûteuses pouvant abaisser le coût «tout fourrage».

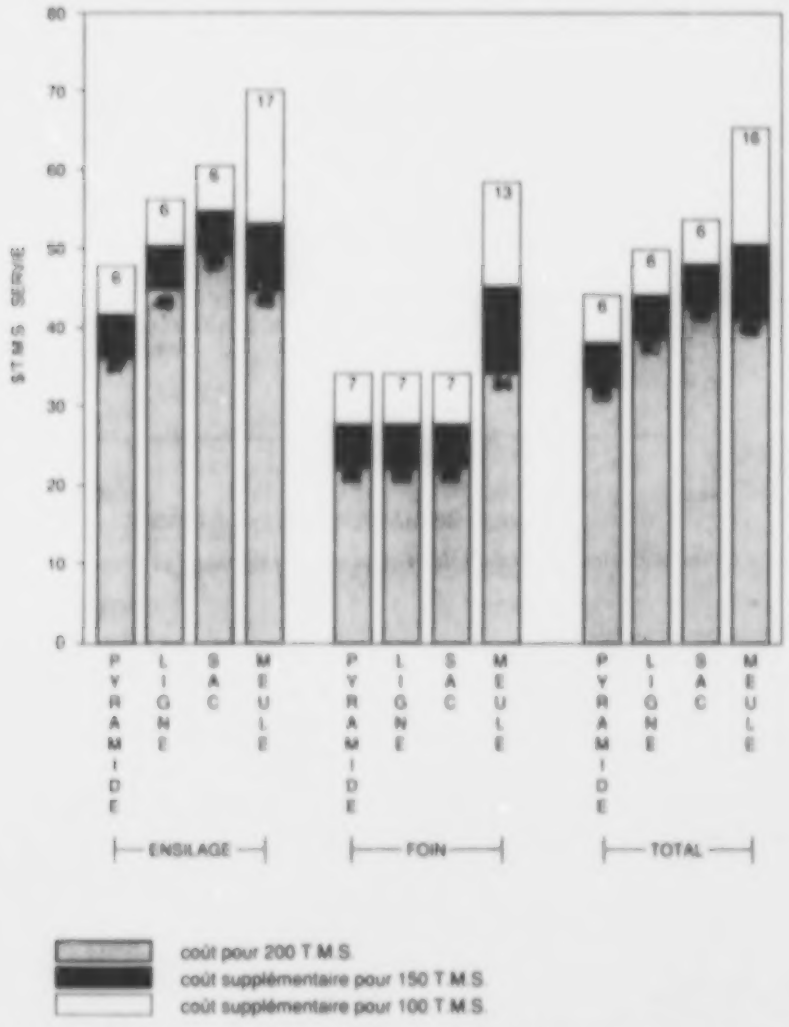


Figure 5.4. **Frais d'exploitation pour l'ensilage, pour le foin et pour le fourrage total pour les systèmes de base d'ensilage de balles rondes et d'ensilage en silo-meule (75% ensilage : 25% foin).** [1]

[1] Pour les systèmes d'ensilage de balles rondes, le foin est en balles rondes, et pour le système d'ensilage en silo-meule, le foin est en balles rectangulaires.

5.9.3 Structure des frais d'exploitation

L'analyse détaillée des frais d'exploitation de l'opération ensilage, dont un exemple de calcul apparaît en annexe 2, révèle que les deux systèmes ont des structures de frais d'exploitation totalement inversées (figure 5.5). L'ensilage de balles rondes a des frais variables élevés, tandis que le silo-meule se caractérise par l'importance de ses frais d'amortissement et d'intérêts. Le premier exige des déboursés annuels importants compte tenu de ses frais variables élevés, alors que le second exige peu de déboursés annuels, ses frais étant en majorité des frais non monétaires .

Le producteur a donc un choix à faire. Dans le cas du silo-meule, il investit plus d'argent au départ et par la suite ses frais monétaires sont faibles, tandis qu'avec l'ensilage de balles rondes, il investit moins au départ, mais il a des frais monétaires annuels élevés par la suite.

Au cours des années, les frais d'exploitation du système avec silo-meule seront beaucoup plus stables. Ce système est plus à l'abri d'éventuelles augmentations du prix des plastiques. Le tableau 5.4 met en évidence l'importance de cette dépense pour l'ensilage de balles rondes et l'ensilage en silo-meule.

Ainsi, les frais d'exploitation pour l'ensilage de balles rondes sont souvent inférieurs à ceux de l'ensilage en silo-meule. Ce dernier est peu adapté à un volume de 100 T.M.S., à cause de l'importance de la capitalisation et des frais très élevés pour la partie de la récolte sous forme de foin.

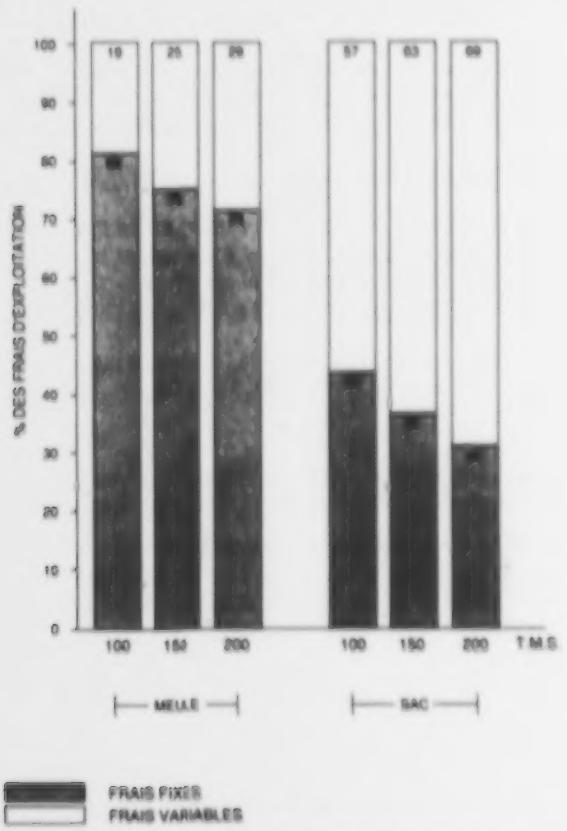


Figure 5.5. **Structure des frais d'exploitation pour l'ensilage de balles rondes en sac et l'ensilage en silo-meule.** (1)

(1) Les modèles à 100, 150 et 200 T.M.S. comportent respectivement 75, 113 et 150 T.M.S. d'ensilage, soit 75% du fourrage total

5.10 Comparaison avec le foin en balles rectangulaires

Le système de foin en balles rectangulaires auquel sera comparé l'ensilage de balles rondes en est un dans lequel le seul investissement requis à moyen terme est l'achat d'une presse à foin à balles rectangulaires avec lance-balles.

5.10.1 Prix de revient

La figure 5.3 montre que les prix de revient des différents systèmes d'ensilage de balles rondes sont toujours plus élevés que ceux du foin en balles rectangulaires. Seul le système d'ensilage de balles rondes en pyramide 2:1 a un prix de revient qui se rapproche de celui du foin.

À cause de l'effet marqué des retards d'exécution, on assiste à une légère augmentation du prix de revient du foin entre 150 et 200 T.M.S. au lieu de réaliser des économies d'échelle (figure 5.3). Cette tendance confirmerait que le système avec foin en balles rectangulaires s'essouffle autour de 200 T.M.S., même si l'on tient compte des facilités rencontrées sur la ferme et que l'on prévoit investir à moyen terme seulement pour la presse à foin.

Le producteur de balles rectangulaires qui devrait investir à moyen terme (d'ici 10 à 20 ans) pour un agrandissement de grange ou pour des achats supplémentaires en machinerie de récolte, verrait augmenter de beaucoup le prix de revient de son fourrage. Un investissement supplémentaire de 10 000$ se traduit par une augmentation des prix de revient de 12,56$, 9,42$ et 6,27$ pour des volumes de 100, 150 et 200 T.M.S. servies (annexe 6). Avec cette capitalisation additionnelle, le prix de revient du fourrage dans le modèle à 100% de foin en balles rectangulaires se situe entre celui de l'ensilage de balles rondes en pyramide (sans conformateur) et celui de la ligne (sans conformateur). Ainsi, même avec une capitalisation supplémentaire de 10 000$, le système avec foin en balles rectangulaires demeure d'intérêt pour les quantités de fourrage étudiées.

5.10.2 Écarts du prix de revient

À l'annexe 6, on présente, pour chaque système, les frais d'exploitation, les prix de revient et les écarts de prix de revient «tout fourrage» par rapport au système à 100% de foin en balles rectangulaires. Ce système a été choisi comme système de référence parce que c'est lui qui a le plus faible prix de revient «tout fourrage», même s'il est très affecté par les retards d'exécution.

Les données de ce tableau apportent des précisions sur le prix de revient de certains modèles n'apparaissant pas à la figure 5.3, tels que les modèles avec 50% d'ensilage et les modèles comportant du travail à forfait.

5.11 Conclusion

La présente étude avait pour but de démontrer les caractéritiques économiques de l'ensilage de balles rondes comme système principal, c'est à dire de préciser dans quelles conditions ce système peut être avantageux économiquement.

À 100 T.M.S., il n'y a pas trop d'ambiguité sur l'avantage économique du modèle à 100% de foin en balles rectangulaires et des modèles d'ensilage de balles rondes qui demandent peu d'investissement et dont les frais de mise sous plastique sont bas.

À150 T.M.S., la plupart des modèles d'ensilage de balles rondes (75% d'ensilage) perdent du terrain par rapport aux silos-meules. Le prix de revient «tout fourrage» des silos-meules est compétitif avec celui de la plupart des modèles avec ensilage de balles rondes.

À 200 T.M.S., l'ensilage en silo-meule (avec investissement de base), l'ensilage de balles rondes en pyramide 2:1 et le foin en balles rectangulaires sont les trois modèles les plus avantageux économiquement (annexe 6). Par contre, si l'implantation du système de silo-meule implique des investissements supplémentaires, plusieurs systèmes d'ensilage de balles rondes sont plus avantageux.

Les possibilités qu'offre le système d'ensilage de balles rondes en ce qui a trait au forfait ne sont sûrement pas étrangères à son développement à titre de système complémentaire. Le producteur qui possède une presse à balles rondes aura un avantage économique à réaliser un plus grand pourcentage de sa récolte sous forme de foin en balles rondes alors que celui qui possède une presse à balles rectangulaires et fait exécuter à forfait l'ensilage de balles rondes aura avantage à récolter sous forme de foin la plus grande partie de sa récolte.

Au point de vue économique, le système à 100% de foin en balles rectangulaires a sûrement encore sa place dans la plupart des fermes consommant 200 T.M.S. et moins. Les nouvelles méthodes de récolte deviennent, entre autres, des outils complémentaires très intéressants à une meilleure gestion des champs.

Entre 150 et 200 T.M.S., il est probable que le facteur économique ne sera pas l'élément principal de décision dans de nombreux cas. Compte tenu des faibles écarts de prix de revient entre certains modèles, les conditions particulières pour une entreprise donnée peuvent favoriser un système plutôt qu'un autre.

On a tenté dans cette étude, de présenter des modèles qui se rapprochent le plus possible de ce qu'on rencontre généralement dans les fermes du Québec. Lors du choix d'un système de récolte et d'entreposage des fourrages, on pourra considérer les résultats de cette étude, mais on devra aussi tenir compte des particularités régionales, locales et au niveau de chaque ferme. Si cela est nécessaire des modifications devront être apportées aux coûts présentés, en fonction des conditions particulières de chaque ferme.

RÉSUMÉ

1- Les systèmes avec ensilage de balles rondes exigent généralement moins d'investissement que les systèmes avec silo-meule.

2- L'ensilage de balles rondes a des frais variables élevés, ce qui en fait une méthode plus sensible aux éventuelles augmentations de ces intrants. Il en coûte en moyenne 4,5 fois plus cher en plastique, avec l'ensilage de balles rondes qu'avec le silo-meule.

3- On observe une très grande variation des charges variables pour la mise sous plastique des balles rondes, en fonction de la forme d'entreposage (en sac, en ligne,...) et/ou du nombre de balles ensilées.

4- Les modèles avec ensilage de balles rondes sont beaucoup plus affectés que les autres modèles étudiés par les coûts des retards d'exécution et les frais variables supplémentaires dus aux pertes de matière sèche.

5- Les frais de main-d'oeuvre ont peu d'impact sur le prix de revient «tout fourrage», sauf dans le cas du système avec ensilage de balles rondes en sac.

6- Il y a un très large éventail de frais d'exploitation et de prix de revient «tout fourrage», tant pour les systèmes avec ensilage de balles rondes que pour ceux avec silo-meule.

7- Pour les modèles étudiés, les écarts de prix de revient (par rapport au foin en balles rectangulaires) sont particulièrement sensibles:

- au niveau de capitalisation (par rapport aux investissements de base);
- au pourcentage de foin dans un modèle;
- à l'importance des travaux réalisés à forfait, de manière à amortir les coûts des machineries et équipements de récolte et/ou d'entreposage;
- au recours aux travaux à forfait pour éviter d'acquérir certaines machineries ou équipements.

8- À 100 T.M.S., il n'y a pas trop d'ambiguïté sur l'avantage économique du modèle à 100% de foin en balles rectangulaires et des modèles d'ensilage de balles rondes qui exigent peu d'investissement et dont les charges variables pour la mise sous plastique sont faibles.

9- À 150 T.M.S., l'intérêt pour la plupart des modèles d'ensilage de balles rondes (75% d'ensilage) par rapport aux silo-meules diminue. Les silos-meules deviennent compétitifs avec de nombreux modèles avec ensilage de balles rondes.

10- À 200 T.M.S., l'ensilage en silo-meule (avec investissement de base), l'ensilage de balles rondes en pyramide 2:1 et le foin en balles rectangulaires sont les trois modèles les plus avantageux économiquement.

CONCLUSION

Il est facile d'essayer les ensilages de balles rondes sans remettre en cause la structure de la ferme. En effet, il existe aujourd'hui beaucoup de possibilités de réaliser cet ensilage à forfait, de plus la puissance des tracteurs généralement disponibles à la ferme convient au chantier de récolte des ensilages de balles rondes. On a donc l'avantage de pouvoir essayer la méthode sans qu'il soit nécessaire d'investir. Cela explique qu'un grand nombre de fermes ont déjà expérimenté les ensilages de balles rondes. Plusieurs pourront donc comparer leur expérience avec les résultats des travaux du groupe de travail sur les balles rondes.

Du point de vue de l'efficacité mécanique, le système de récolte exigeant deux (2) personnes a une performance égale au système de foin pressé avec lance-balles et au système de silo-meule. Le silo-meule a la meilleure performance avec trois (3) personnes, et l'ensilage de balles rondes avec quatre (4) personnes. Il a l'avantage d'exiger une force motrice moindre que l'ensilage haché. L'équipement nécessaire à la manutention de balles ensilées au champ bien que développé en Europe n'est pas utilisé au Québec.

L'ensilage de balles rondes est différent des ensilages hachés: la fermentation est plus lente et moins prononcée, ce qui en fait un ensilage moins acide qui ne chauffe pas. Lorsqu'il est réalisé trop humide, la fermentation est incomplète, ce qui le rend instable; l'exposition à l'air entraîne alors une détérioration rapide de l'ensilage. On a observé des pourcentages de pertes dues au processus d'ensilage variant de 5 à 15%. De façon générale les pourcentages de pertes ont diminué avec l'expérience des opérateurs, l'amélioration des techniques de fabrication et l'amélioration de la qualité des films utilisés. On ne saurait trop insister sur le fait que la fabrication des ensilages de balles exige beaucoup de soin. Il est important de choisir une méthode d'entreposage qui convient à la quantité d'ensilage utilisé de façon à réduire le temps où l'ensilage est exposé à l'air.

L'alimentation de l'ensilage de balles rondes peut être à la fois très simple dans les stabulations libres ou très difficile dans le cas des vaches entravées queue à queue. Le moins que l'on puisse souhaiter, c'est le développement d'un système d'alimentation qui convient aux étables en usage au Québec. On doit également souligner que l'ensilage de balles rondes ne se prête pas facilement à la ration totale mélangée.

Les expériences d'alimentation effectuées en milieu contrôlé ont démontré que les performances des animaux alimentés à l'ensilage de balles rondes ne diffèrent pas significativement de celles des animaux alimentés à l'ensilage conservé en silo tour ou en silo-meule, lorsque les deux types d'ensilage sont servis sous forme hachée. Par contre les animaux alimentés avec du fourrage long ont démontré des performances moindres que ceux alimentés avec du fourrage haché. Chez les agriculteurs on a observé une amélioration des performances animales en passant du foin sec à l'ensilage de balles rondes. Cette amélioration résulte probablement du fait que l'herbe récoltée pour l'ensilage est plus jeune, donc de meilleure qualité.

L'économie du système d'ensilage de balles rondes découle de sa flexibilité, ce qui permet de saisir la possibilité de récolter du foin lorsque la saison est propice. Ceci a pour effet d'éliminer le coût des plastiques qui représentent environ la moitié des coûts de récolte et de conservation. Il faut rappeler toutefois que le foin doit alors être récolté dans des conditions d'humidité idéale puisque le séchage des grosses balles de foin n'est pas techniquement au point.

La comparaison économique avec les systèmes foin sec et silo-meule effectuée pour diverses tailles d'entreprises indique que les systèmes d'ensilage de balles rondes qui exigent peu d'investissement sont avantageux à 100 tonnes de matière sèche servie par année, mais que seul le système d'ensilage de balles rondes en pyramide 2:1 est plus avantageux que le système d'ensilage en silo-meule jusqu'à environ 200 tonnes de matière sèche, soit pour une ferme comprenant de 35 à 40 vaches laitières.

À une époque où l'on se préoccupe davantage des questions de propreté et de la salubrité de l'environnement, la disposition des plastiques à la ferme présente un important problème à résoudre. La popularité grandissante de l'utilisation des plastiques à la ferme confère une certaine urgence à cette question.

La technique de l'ensilage de balles rondes comporte suffisamment d'avantages pour être adoptée par un nombre important d'exploitations au Québec. Son essor dépend largement de l'évolution du prix des plastiques et des machines. Les problèmes de mécanisation de l'alimentation et de disposition des plastiques doivent encore être résolus.

Bien que les ensilages de balles rondes soient intéressants sur le plan économique, ils ne constituent pas une solution universelle et définitive aux problèmes de la récolte et de la conservation des fourrages au Québec. Il s'agit plûtot d'un choix qui convient à un certain nombre d'exploitants.

BIBLIOGRAPHIE

AGRICULTURAL DEVELOPMENT ADVISORY SERVICE. 1987. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Lion House, Alnwick, Northumberland. Published 1987: 3096.

AGRICULTURE CANADA. 1986. *L'alimentation d'un troupeau laitier à l'ensilage de balles rondes.* Innovation technologique. Ferme Boucdard Enr., Mégantic-Compton.

AGRICULTURE CANADA. Mars 1986. *Ensachage de balles rondes empilées en meules.* Innovation technologique. Yves Girard, Saints-Anges-de-Beauce.

AGRICULTURE CANADA. Mars 1986. *Essai de la technique d'ensilage de balles rondes en sacs individuels.* Innovation technologique. J. Lehouillier, Dupuy.

ANDERSON, P.M., W.L. KJELGAARD, L.D. HOFFMAN and L.L. WILSON. 1978. *Round bale of hay and silage.* American society of Agricultural Engineers, St-Joseph, Michigan. Paper 78-1522.

ANDERSON, P.M. et al. 1984. *Preserving and feeding round bale silage.* American society of Agricultural Engineers, December 1984. St-Joseph,Michigan. Hyatt Regency, New Orleans, Louisiana. Paper 84-1533.

ANDERSON, P.M. et al. 1985. *Chemical preservation for baled hay and baled silage.* American society of Agricultural Engineers, December 1985. St-Joseph, Michigan. Hyatt Regency, Chicago, IL. Paper 85-1537.

ANONYME. 1988. *Forage quality research at the central experimental farm.* Animal Research Center, Ottawa. Forage Notes. vol. 33.

ANDRIEU, J.P., F. GAILLARD et J.P.DULPHY. 1981. *L'ensilage d'herbe mi-fané en balles rondes, utilisation par les génisses laitières de 1 an.* Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 46: 31-37.

BACHAND, C., R. LEDUC et A. TREMBLAY. 1983. *Considérations nutritionnelles sur l'alimentation humide.* Symposium sur les bovins laitiers, pages 19-41.

BAILEY, J.M. and B. GAPUD. 1985. *Synthesis of biodegradable polyethylene: a review.* American Chemical Society Symposium Series 280:423-431.

CENTRE D'ÉTUDE DU MACHINISME AGRICOLE, DU GÉNIE RURAL, DES EAUX ET DES FORÊTS. 1984. *Dossier fourrage - préciser les types d'ensilage d'herbe.* C.E.M.A.G.R.E.F. Production laitière moderne, No. 124, mars 1984, France.

CHAPULA, W. and D. FERGUSON. 1985. *Protein and energy requirements of dairy cows, 46 4th Minnesota Nutr.* conf., sept. 1985. pp. 1-29. Extrait Symposium sur les bovins laitiers, 23 octobre 1986.

CHARMLEY, E. and D.M. VEIRA. 1988. *The effects of inhibiting plant proteolysis on the composition of silage nitrogen and its digestion by sheep.* Animal Research Center, Agriculture Canada, Ottawa, Ontario.

CODRON, PASCAL. 1987. *Comprendre les principes.* Dossier Ensilage, Revue Cultivar (septembre).

COMITÉ DE RÉFÉRENCES ÉCONOMIQUES EN AGRICULTURE DU QUÉBEC. 1988. *Récolte, conservation et reprise des fourrages, Frais d'exploitation.* Agdex 732/821.

CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC. 1988. *Plantes Fourragères, Culture.* Agdex 120/20.

CRESSMAN, S.G., B.D. MCKERSIE and R.J. MCLAUGHLIN. 1979. *Quality hay crop silage*. Factsheet 79-0349. Ministry of Agriculture and Food of Ontario.

DULPHY, J.P. 1984. *La technique de l'ensilage*. Revue Plasticulture no 63.

DULPHY, J.P. et C. DEMARQUILLY 1978. *Valeur alimentaire des ensilages d'herbe*. Notes de cours.

EDWARDS, R.A. and P. MCDONALD 1984. *Fermentation of silage - a review*. National Feed Ingredients Association. Iowa.

FLINT, R. 1982. *La récupération des déchets de polyéthylène basse densité et leur transformation en film*. Plasticulture 53: 3-12.

FORTIER, M. 1979. *Grosses balles rondes: manipulation, entreposage et conservation*. Septième colloque de génie rural. Département de génie rural, Université Laval, Québec.

GAILLARD, F. 1982. *L'ensilage de balles rondes. Les nouvelles techniques d'ensilage d'herbe: autochargeuse-balles rondes*. Compte-rendu de la journée d'information du 27 avril 1982 à Paris, pages 31-42.

GAILLARD, F. 1986. *L'ensilage en balles rondes en France*. Symposium sur les plantes fourragères, pages 175-199. Conseil des productions végétales du Québec, Québec.

GAILLARD, F. et P. ZWAENEPOEL. 1987. *Balles rondes sous film étirable*. Centre National du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts (C.E.M.A.G.R.E.F.), BTMEA 18: 37-46.

GALLAGHER, D.W. 1976. *Heat damage in hay crop silage*. Thèse de maîtrise. Université de Guelph.

GANNEAU, M. 1981. *L'ensilage d'herbe en balles rondes: l'expérience française*. Centre National du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts (C.E.M.A.G.R.E.F.) Bul. No. 280: 19-21.

GURNETT, L. (communication personnelle). 1987. *Observations on big bale silage 1981-1984*. Liscombe Experimental Husbandry Farm.

HARRISON, H.P. 1985. *Preservation of large round bales at high moisture*. Transactions of the ASAE 28(3): 675-686.

HAYHOE, H.N., J. BOISVERT et J.N. COUTURE. 1986. *Contraintes climatiques durant la période de fenaison*. Symposium sur les plantes fourragères. C.P.V.Q.

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE AGRONOMIQUE. 1980. *Alimentation des ruminants*. R. Jarridge. Paris.

INSTITUT TECHNIQUE DE L'ÉLEVAGE BOVIN. 1980. *Utilisation des ensilages d'herbe pour la production de taurillons*. Paris.

JUBINVILLE, J. et al. 1983. *Aspect économique de l'alimentation humide*. Symposium sur les bovins laitiers. C.P.A.Q.

KJELGAARD, W.L., P.M. ANDERSON, L.L. WILSON, H.W. HARPSTER, P.J. LE VAN and R.F. TOOD. 1981. *Round bale silage*. ASEA Paper No.: 81-1520.

MCDONALD, P. 1981. *The biochemistry of silage*. John Wiley & Sons. Toronto.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC, 1986. *Performance à l'engraissement de bouvillons alimentés à l'ensilage de balles rondes*. Introduction de productions et de techniques nouvelles. Abitibi.

MORRISSON, R.R. et al. 1981. *A comparison of big bale and precision chop silage; silage quality, losses and livestock performance.* Edinburgh School of Agriculture. Edinburgh. Paper no.43.

PAMI. 1977. *Rapports d'essai de presses à balles rondes (E1076A, E1076B, E1076C, E1076D).* Prairie Agricultural Machinery Institute, Humboldt, Saskatchewan.

PAMI. 1988. *Rapports d'essai de presses à balles rondes (nos. 530, 554, 555).* Prairie Agricultural Machinery Institute, Humboldt, Saskatchewan.

QUÉVILLON, M. 1989. *Plan de parc pour ensilage sous plastique.* Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Région 09 (Abitibi-Témiscamingue). Dessin no. 09-7411.

ROTZ, C.A. et D.J. SPROTT. 1984. *Drying rates, losses and fuel requirements for mowing and conditioning alfalfa.* Trans. ASAE 27(3): 715-720.

SAVOIE, P. 1987. *Optimization of plastic cover for stack silos.* Journal of Agricultural Engineering Research. 41

SAVOIE, P., S. BEAUREGARD, D. TREMBLAY, M. QUÉVILLON, H. GARINO et A. AMYOT. 1988. *Nouvelles méthodes de conservation des fourrages.* Symposium bovins laitiers, pages 9-39. Conseil des productions animales du Québec.

SERVICE DE LA ZOOTECHNIE DE DESCHAMBAULT. (non publié). *Evaluation de l'ensilage de balles rondes 1985-1988.*

VÉRITÉ, R. et J.L. PEYRAUD. 1988. *Nutrition azotée. Alimentation des bovins, ovins, caprins.* Institut National de la Recherche Agronomique (INRA).

VINK, P., R.T. ROTTEVEE and J.D. WISSE. 1984. *Recycling of crate material: weatherability of stabilized recycled high-density polyethylene.* Polymer Degradation and Stability 9(3): 133-144.

WIERINGA, G.W. 1969. *Influence of moisture and nutrient content of forage plants on fermentation processes.* Proceedings of the third general meeting of the European Grassland Federation, Braunschweig. pages 113-137. Cité dans Perspectives agricoles, mai 1978, pages 10-18.

WILKINSON, J.M. et al. 1981. *Interrelationship between pattern of fermentation during ensilage and initial crop composition.* Proceedings of the XIV International Grassland Congress, Lexington, U.S.A.

WOOLFORD, MICHAEL K. 1984. *The silage fermentation.* Marcel Dekker Inc. New York.

ZIMMER, E. 1971. *Factors affecting silage fermentation in silo.* In Silage and Research Conference. Washington.

ANNEXE 1

Frais d'exploitation pour la mise sous plastique, selon la méthode d'entreposage de l'ensilage de balles rondes en 1989. (1)

Type de film et d'équipement et calcul des frais	Frais de mise sous plastique / balle (balle de 1,2 m x 1,2 m)
- Sac	
Sac noir	5,40$
Sac blanc	6,40$
- Enrobeuse portée sans dispositif de chargement (7 900$)	
• Rouleau de 6 000 pieds de «Film plastique»: 110$ Avec une moyenne de 33 balles/rouleau 110$/rouleau x 1 rouleau/33 balles = 3,34$/balle	
• 1 bande de réparation à 0,22$ par balle (2) Film + bande de réparation: 3,34$ + 0,22$ = 3,56$	
• DIRTA (10 ans) associé à l'enrobeuse (3)	
7 900$ x 20,90% = 1 651$ annuellement	
Si 375 balles: 4,39$ + 3,56$ (Film) =	7,91$
Si 565 " : 2,89$ + 3,56$ (") =	6,45$
Si 750 " : 2,18$ + 3,56$ (") =	5,74$
Si 1 000 " : 1,63$ + 3,56$ (") =	5,19$
Si 1 500 " : 1,09$ + 3,56$ (") =	4,65$
- Enrobeuse remorquée avec dispositif de chargement (11 300$)	
• Film + bande de réparation: idem ci-dessus: 3,56$	
• DIRTA (10 ans) associé à l'enrobeuse (3)	
11 300$ x 20,90% = 2 362$ annuellement	
Si 375 balles: 6,30$ + 3,56$ (Film) =	9,86$
Si 565 " : 4,18$ + 3,56$ (") =	7,74$
Si 750 " : 3,15$ + 3,56$ (") =	6,71$
Si 1 000 " : 2,36$ + 3,56$ (") =	5,92$
Si 1 500 " : 1,57$ + 3,56$ (") =	5,13$
- Conformateur en ligne (3 300$) Sacs (tube) 105$/22 balles = 4,77$/balle	
• DIRTA (10 ans) associé au conformateur (3)	
3 300$ x 20,90% = 690$ annuellement	
Si 375 balles: 1,84$ + 4,77$ (tube) =	6,61$
Si 565 " : 1,22$ + 4,77$ (tube) =	5,99$
Si 750 " : 0,92$ + 4,77$ (tube) =	5,69$
Si 1 000 " : 0,69$ + 4,77$ (tube) =	5,46$
Si 1 500 " : 0,46$ + 4,77$ (tube) =	5,23$

Frais d'exploitation pour la mise sous plastique, selon la méthode d'entreposage de l'ensilage de balles rondes en 1989. [1] (suite)

Type de film et d'équipement et calcul des frais	Frais de mise sous plastique / balle (balle de 1,2 m x 1,2 m)
- Balles en ligne (sans conformateur)	
Plastique 6 m x 30 m: 102,50$ / 23 balles =	4,46$
- Balles en pyramide 2:1 (sans conformateur)	
Plastique dessous (100 microns) 4,8 m x 30 m : 52$ Plastique dessus (150 microns) 7,8 m x 30 m : 115$	
Total : 167$ / 59 balles =	2,83$

[1] Les frais d'exploitation pour la mise sous plastique comprennent le coût du plastique plus, s'il y a lieu, le DIRTA (3) associé à l'équipement d'ensilage directement lié à la sorte de film utilisé (enrobeuse, conformateur).

[2] Avec l'utilisation d'une fourche à 2 pics, il faudra prévoir 0,22$ de plus par balle.

[3] DIRTA: Loyer annuel associé à la possession d un actif qui se déprécie. Le DIRTA comprend: la dépréciation, l'intérêt moyen sur le capital investi, les frais de réparation et d'entretien, les taxes et les assurances.

ANNEXE 2

Exemples de calcul des frais d'exploitation

I – FRAIS D'EXPLOITATION DU SYSTÈME D'ENSILAGE D'HERBE EN BALLES RONDES LORSQU'IL EST JUMELÉ AVEC LA RÉCOLTE DE FOIN EN BALLES RONDES

- **Besoins globaux en fourrages: ensilage 150 T.M.S. et foin 50 T.M.S.**

A. Frais d'exploitation de l'opération «ensilage»: 150 T.M.S.

1. Frais variables

Fauchage, pressage et transport à la ferme 15,42$/ha x 46,68 ha	=	722
Reprise de balles avec tracteur 0,27$/balle x 750 balles	=	202
Plastique		
5,40 $/sac de 0,004 po x 750 sacs	=	4 050
ou		
Prix de revient/balle x .....balles	=	—
Ficelle		
0,22$/balle x 750 balles	=	166
Additifs		
3,00$/balle x.....balles	=	0
Main-d'oeuvre rénumérée	=	0
Total des frais variables :		5 140

2. Frais fixes

Assurances sur la machinerie et l'équipement (0,9% x 17 850 $) x 75 % d'utilisation + (0,9% x .....$) + Entretien de l'équipement (5% x 1 300 $) x 75 % d'utilisation + (5% x .....$)	=	170

3. Amortissements (linéraires)

Bâtiments (40 ans) 2 000 $ x 2,5% + Équipement (.....ans) .....$ x..... % + Machinerie (10 ans) 17 850$ x 10 % x 75% d'utilisation + machinerie (.....ans) .....$	=	1 388

4. Intérêts sur l'investissement spécifique

Machinerie et équip.	17 850$ x 0,5 x 10 % x 75 % d'utilisation	=	670
Machinerie et équip.	..... $ x 0,5 x.....%	=	
Bâtiments	2 000 $ x 0,5 x 10 %	=	100
	Total des intérêts	=	770

5. Total des frais d'exploitation reliés à l'ensilage (Al + A2+ A3 + A4)	=	7 468
Total des frais d'exploitation reliés à l'ensilage (par T.M.S.)	=	49,79

B. Frais d'exploitation de l'opération «Foin»: 50 T.M.S.

1. Frais variables

Fauchage, râtelage, pressage et transport à la ferme 19,20$/ha x 15,63 ha	=	300
Ficelle 0,18$/balle x 200 balles	=	36
Reprises des balles avec tracteur 0,27$/balle x 200 balles	=	54
Total des frais variables :		390

2. Frais fixes

Assurances sur la machinerie et équipement (0,9% x 17 850$) x 25 % d'utilisation	=	41
Entretien et réparation de l'équipement (5% x 1 300$) x 25 % d'utilisation	=	16
Total des frais fixes :		57

3. Amortissements

Machinerie et équipements (10 ans) 17 850$ x 10% x 25 % d'utilisation + (.....ans) .....$ x ....%	=	447

4. Intérets sur l'investissement

(17 850 $ x 0,5 x 10 %) x 25 % d'utilisation	=	223

5. Total des frais d'exploitation reliés au foin (B1 + B2 + B3 + B4)	=	1 117
Total des frais d'exploitation reliés au foin (par T.M.S.)	=	22,34
TOTAL DES FRAIS D'EXPLOITATION «FOIN ET ENSILAGE» (B5 + A5)	=	8 585
TOTAL DES FRAIS D'EXPLOITATION «FOIN ET ENSILAGE» (PAR T.M.S.)	=	42,93

II - FRAIS D'EXPLOITATION DU SYSTÈME D'ENSILAGE D'HERBE EN SILOS-MEULES LORSQU'IL EST JUMELÉ AVEC RÉCOLTE DE FOIN EN BALLES RECTANGULAIRES

- **Besoins globaux en fourrages: ensilage 150 T.M.S. et foin 50 T.M.S.**

A. Frais d'exploitation de l'opération «ensilage»: 150 T.M.S.

1. Frais variables

Fauchage, récolte avec fourragère, transport à la ferme et mise en silo 23,25$/ha x 46,68 ha	=	1 086
Reprise avec tracteur .12 h/T.M.S. x 150 T.M.S.x 6,00$/h	=	108
Plastique (40 x 100 pi) 205$ pour 40 T.M.S.: 5,13/T.M.S. x 150 T.M.S.	=	770
Additifs	=	0
Main-d'oeuvre rénumérée	=	0
Total des frais variables	=	1 964

2. Frais fixes

Assurances sur la machinerie et l'équipement	(0,9% x	22 400$)	
+ Entretien et réparation des bâtiments	(1,4% x	9 600$)	
+ Entretien de l'équipement	(5% x	4 400$)	= 556

3. Amortissements (linéaire)

Bâtiments (30 ans) 9 600 $ x 3,33%	
+ Équipement (10 ans) 4 400 $ x 10 %	
+ Machinerie (10 ans) 18 000 $ x 10 % + (.....ans).....$ x .....%	2 560

4. Intérêts sur l'investissement spécifique aux silos-meules

Machinerie et équip. 22 400$ x 0,5 x 10 %	=	1 120
Bâtiments 9 600$ x 0,5 x 10 %	=	480
Total des intérêts :		1 600

5. Total des frais d'exploitation reliés à l'ensilage (A1 + A2 + A3 + A4)	:	6 680
Total des frais d'exploitation reliés à l'ensilage (PAR T.M.S.)	:	44,53

B. Frais d'exploitation de l'opération «Foin»: 50 T.M.S.

1. Frais variables

Fauchage, râtelage, pressage et transport à la ferme 19,20$/ha x 15,52 ha	=	298
Ficelle 2,36$/T.M.S. x 50 T.M.S.	=	118
Électricité pour séchoir 2,45$/T.M.S. x 50 T.M.S.	=	122
Total des frais variables	=	538

2. Frais fixes

Assurances sur la machinerie (0,9% x 7 320$) + Entretien et réparation de l'équipement (5% x 440 $)	=	84

3. Amortissements

Machinerie (10 ans) (6 880 $ x 10 %) + Équipements (10 ans) (440$ x 10 %) + (.....ans) (.....$ x.....%)	=	732

4. Intérêts sur l'investissement «machinerie et équipement» (7 320 $ x 0,5 x 10 %)	=	366
5. Total des frais d'exploitation reliés au foin (B1 + B2 + B3 + B4)	:	1 720
Total des frais d'exploitation reliés au foin (par T.M.S.)	:	34,40
TOTAL DES FRAIS D'EXPLOITATION «FOIN ET ENSILAGE» (B5 + A5)	:	8 400
TOTAL DES FRAIS D'EXPLOITATION «FOIN ET ENSILAGE» (PAR T.M.S.)	:	42,00

ANNEXE 3

Capacité climatique moyenne de diverses méthodes de récolte selon les paramètres décrits

Méthode de récolte	Teneur en matière sèche %	Capacité théorique[1] T.M.S./J récolte	Séquence nécessaire jours	Probabilité climatique[2]	Capacité climatique[3] T.M.S./J calendrier
Silo-meule	15-25	39	<1	0,73	28,5
Silo-meule	25-35	39	2	0,57	10,9
Ensilage balles rondes	40-50				
• ligne		29	2	0,55	8,0
• pyramide		33	2	0,55	9,1
• sac		20	2	0,55	5,5
• enrobeuse[4]		24	2	0,55	6,6
Balles carrées + lance-balles + séchoir(s)	60-70	27	3	0,44	4,2
Foin balles rondes	80-82	40	4	0,33	3,3

[1] La capacité théorique est le nombre de tonnes de matière sèche qui peut être récolté en moyenne lors de la journée de ramassage (3 personnes (2 pour le foin de balles rondes), 10 heures par jour).

[2] Il s'agit de la probabilité que la séquence nécessaire se réalise de façon consécutive et sans précipitation supérieure à 2,5 mm par jour. (Hayhoe et al. 1986). Moyenne de 7 stations météorologiques du Québec.

[3] La capacité climatique est le nombre de tonnes de matière sèche qui peut être récolté en moyenne par jour de calendrier et sans précipitation supérieure à 2,5 mm par jour d'exposition au champ. Un exemple de calcul est donné en annexe 4.

[4] Enrobage au site d'entreposage.

ANNEXE 4

Exemple de calcul de capacité climatique des chantiers

ENSILAGE DE BALLES RONDES EN PYRAMIDES 2:1

CAPACITÉ/JOUR DE RAMASSAGE (3 personnes 10 heures) : 33 T.M.S.

	Séquences possibles 2 J	3 J	4 J
1. Nombre de jours consécutifs favorables	2	3	4
2. Jours minimaux de séchage	1	1	1
3. Jours de récolte par séquence favorable (ligne 1 - ligne 2)	1	2	3
4. Capacité par séquence (ligne 3 x (cap./jour de ramassage)	33	66	99
5. Capacité par jour favorable (ligne 4 / ligne 1)	16,5	22,0	24,75
6. Probabilité de séquence [1]	0,55	0,44	0,34
7. Capacité par jour de calendrier (ligne 5 x ligne 6)	9,1	9,7	8,4

8. Capacité climatique = moyenne pondérée de la ligne 7 x ligne 6

$$= \frac{(9{,}1 \times 0{,}55) + (9{,}7 \times 0{,}44) + (8{,}4 \times 0{,}34)}{0{,}55 + 0{,}44 + 0{,}34}$$

= 9,1 T.M.S. / jour de calendrier

[1] Moyenne de 7 stations au Québec (période 2).

ANNEXE 5

Temps estimé moyen de récolte à la première coupe sans dommage climatique [1]

Systèmes de récolte		Temps moyen de récolte (jours) de la première coupe		
		Modèles de fermes (T.M.S. servies)		
Foin 25%	**Ensilage 75%**	**100**	**150**	**200**
Balles carrées [2]	Silo-meule préfané	10	15	20
Balles rondes	Balles rondes			
	- ligne	13	20	27
	- pyramide	13	19	25
	- sac	16	23	31
	- enrobeuse [2]	14	22	29
Foin 50%	**Ensilage 50%**			
Balles carrées [2]	Silo-meule préfané	14	20	27
Balles rondes	Balles rondes (pyramide, ligne, sac et enrobeuse[2]	17	26	34
Foin 100%				
Balles carrées [3]		16	24	31
Balles rondes		20	31	41

(1) Calculé selon les capacités climatiques de l'annexe 1 et une proportion de 60% du fourrage en première coupe. Dans les systèmes avec ensilage, le foin (25% ou 50% du volume total) est entièrement récolté en première coupe.
(2) Enrobage au site d'entreposage.
(3) Avec lance-balles et séchoir(s).

ANNEXE 6

Prix de revient de la récolte, l'entreposage et la reprise selon le système d'entreposage, lorsqu'on additionne aux frais d'exploitation le coût des pertes, de la main-d'oeuvre et des retards d'exécution. (a)

Système d'entreposage	-1- Qté fourrage (T.M.S.)	-2- Frais d'exp.	-3- Coût des retards	-4- Main-d'oeuvre	-5- F.V. pertes M.S.	-6- Prix de revient	-7- Écart des prix de revient
		($/T.M.S. servie)					
Ensilage de balles rondes							
PYRAMIDE 2:1	100	44,35	1,94	5,14	2,23	53,66	4,03
(sans conformateur)	150	38,40	9,25	5,14	2,23	55,02	3,93
	200	33,29	15,28	5,14	2,23	55,94	2,06
EN LIGNE	100	50,46	2,38	6,16	4,12	63,12	13,49
(sans conformateur)	150	44,52	9,90	6,16	4,12	64,70	13,61
	200	[illegible]41	16,15	6,16	4,12	65,84	11,96
EN LIGNE	100	53,08	2,38	6,16	4,12	65,74	16,11
(700$)	150	46,65	9,90	6,16	4,12	66,83	15,74
	200	41,32	16,15	6,16	4,12	67,75	13,87
EN LIGNE	100	58,52	2,38	6,16	4,12	71,18	21,55
(3 300$)	150	50,25	9,90	6,16	4,12	70,43	19,34
(sans forfait)	200	44,02	16,15	6,16	4,12	70,45	16,57
EN SAC (invest.	100	53,98	4,01	8,83	4,78	71,60	21,97
base) (sac à	150	48,04	12,35	8,83	4,78	74,00	22,91
5,40$ l'unité)	200	42,93	19,41	8,83	4,78	75,95	22,07
ENROBEUSE	100	63,40	3,14	7,42	1,44	75,40	25,77
(7 800$)	150	51,98	11,04	7,42	1,44	71,88	20,79
(sans forfait)	200	44,21	17,67	7,42	1,44	70,74	16,86
ENROBEUSE	100	53,20	3,14	7,42	1,44	65,20	15,57
(7 800$)	150	47,25	11,04	7,42	1,44	67,15	16,06
(avec forfait) (b)	200	42,13	17,67	7,42	1,44	68,66	14,78
ENROBEUSE	100	70,70	3,14	7,42	1,44	82,70	33,07
(11 300$)	150	56,82	11,04	7,42	1,44	76,72	25,63
(sans forfait)	200	47,85	17,67	7,42	1,44	74,38	20,50
ENROBEUSE	100	81,43	3,14	7,42	1,44	93,43	43,80
(11 300$ + 6 100$)	150	63,97	11,04	7,42	1,44	83,87	32,78
(sans forfait)	200	53,22	17,67	7,42	1,44	79,75	25,87
PRIX REVIENT PLAS-	100	45,02	5,17	5,35	3,30	58,84	9,21
TIQUE 4,46$/BALLE	150	38,61	14,09	5,35	3,30	61,35	10,26
(50% ens.:50% foin)	200	33,68	21,73	5,35	3,30	64,06	10,18

ANNEXE 6

Prix de revient de la récolte, l'entreposage et la reprise selon le système d'entreposage, lorsqu'on additionne aux frais d'exploitation le coût des pertes, de la main-d'oeuvre et des retards d'exécution. (a) (suite)

Système d'entreposage	-1- Qté fourrage (T.M.S.)	-2- Frais d'exp.	-3- Coût des retards	-4- Main-d'oeuvre ($/T.M.S.	-5- F.V. pertes M.S. servie)	-6- Prix de revient	-7- Écart des prix de revient
Silo-meule							
Si investissement de base	100	66,83	0	5,27	0,51	72,61	22,98
	150	50,99	6,34	5,27	0,51	62,71	11,62
	200	42,00	11,40	5,27	0,51	59,18	5,30
Si investissement de base + 15 000$	100	90,68	0	5,27	0,51	96,46	46,83
	150	66,62	6,34	5,27	0,51	78,74	27,65
	200	53,93	11,40	5,27	0,51	71,11	17,23
Si investissement de base + 27 500$	100	110,56	0	5,27	0,51	116,34	66,71
	150	79,82	6,34	5,27	0,51	91,94	40,85
	200	67,86	11,40	5,27	0,51	85,04	31,16
Foin en balles rectangulaires (100%)							
Si investissement de base (c)	100	38,80	4,17	6,66	0	49,63	0
	150	31,84	12,59	6,66	0	51,09	0
	200	27,47	19,75	6,66	0	53,88	0
Si investissement de base + 10 000$	100	51,36	4,17	6,66	0	62,19	12,56
	150	41,26	12,59	6,66	0	60,51	9,42
	200	33,75	19,75	6,66	0	60,15	6,27

Signification des abréviations:
-1- Quantité de fourrages consommée à la ferme
-2- Frais d'exploitation
-3- Coûts maximaux dus aux retards
-4- Frais en main-d'oeuvre
-5- Frais variables supplémentaires pour compenser les pertes de M.S.
-6- Prix de revient = le total des colonnes 2 à 5
-7- L'écart des prix de revient, avec le foin en balles rectangulaires comme référence.

(a) Modèles avec 75% d'ensilage et 25% de foin, sauf indication contraire.

(b) Utilisation globale de l'équipement décrit : 1 000 balles par année.

(c) Dans l'alternative où il y aura seulement l'acquisition d'une presse à foin neuve avec lance-balles comme investissement lié au modèle et ce, pour la durée de vie économique de la dite presse.

ANNEXE 7

Pressage et enrobage à forfait

Lors de la prise de décision d'acheter une presse à balles rondes ou de faire exécuter le pressage à forfait, on devrait considérer les facteurs suivants:

- le nombre de balles à presser;
- le coût du pressage à forfait;
- le nombre de propriétaires de presses à balles rondes exécutant des travaux a forfait dans la région et leur disponibilité ;
- la main-d'oeuvre disponible dans la ferme.

Plus le coût du pressage à forfait est faible, plus le nombre de balles pour justifier la possession d'une presse est élevé, tel que l'illustre la figure qui suit.

De plus, lorsqu'on pense à faire exécuter du pressage à forfait, il est essentiel de vérifier si le nombre de balles à presser et la disponibilité du propriétaire de la presse entraîneront des retards d'exécution. Il est possible que des retards d'exécution justifient l'achat d'une presse à balles rondes, même si le nombre de balles à presser est beaucoup plus faible que celui qui le justifierait normalement.

Le coût du pressage à forfait est très variable dans une même région, compte tenu du relief, du nombre de balles à presser et de la distance qu'aura à franchir le propriétaire de la presse pour se rendre au chantier du client. De plus le coût du forfait varie beaucoup d'une région à l'autre, en fonction de l'offfre et de la demande.

Les possibilités de réaliser des travaux à forfait avec la presse à balles rondes et l'enrobeuse ne sont pas étrangères à la percée de ce système. Jusqu'à présent plusieurs producteurs ont pu bénéficier d'un marché intéressant en tant qu'entrepreneurs de travaux à forfait. Compte tenu du nombre grandissant de presses et d'enrobeuses dans certaines régions, le marché du forfait se rétrécit. Un producteur qui compte sur la réalisation de travaux à forfait pour amortir sa machinerie d'ensilage de balles rondes doit en tenir compte.

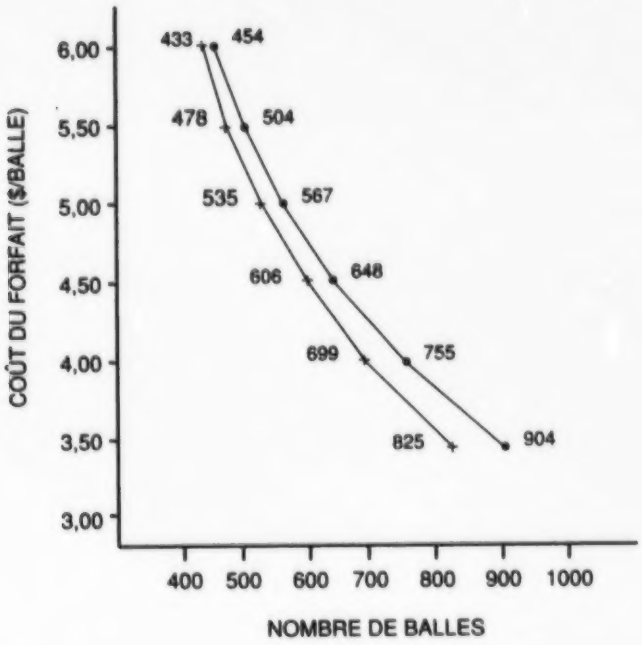


Figure A.1. **Nombre minimal de balles à presser pour justifier l'achat d'une presse à balles rondes, selon différents coûts de pressage à forfait.** (1) (2)

- Un salaire horaire de 6,00$ a été considéré pour l'opérateur dans l'hypothèse de l'achat d'une presse (situation de pénurie de main-d'oeuvre).

+ Aucun salaire n'a été considéré pour l'opérateur dans l'hypothèse de l'achat d'une presse.

(1) Le coût à forfait comprend l'utilisation d'un tracteur, d'une presse à balles rondes ainsi que la corde.

(2) On a considéré que le coût d'achat de la presse est de 16 000$.

Gouvernement du Québec
**Ministère de l'Agriculture,
des Pêcheries et de l'Alimentation**

90-0036